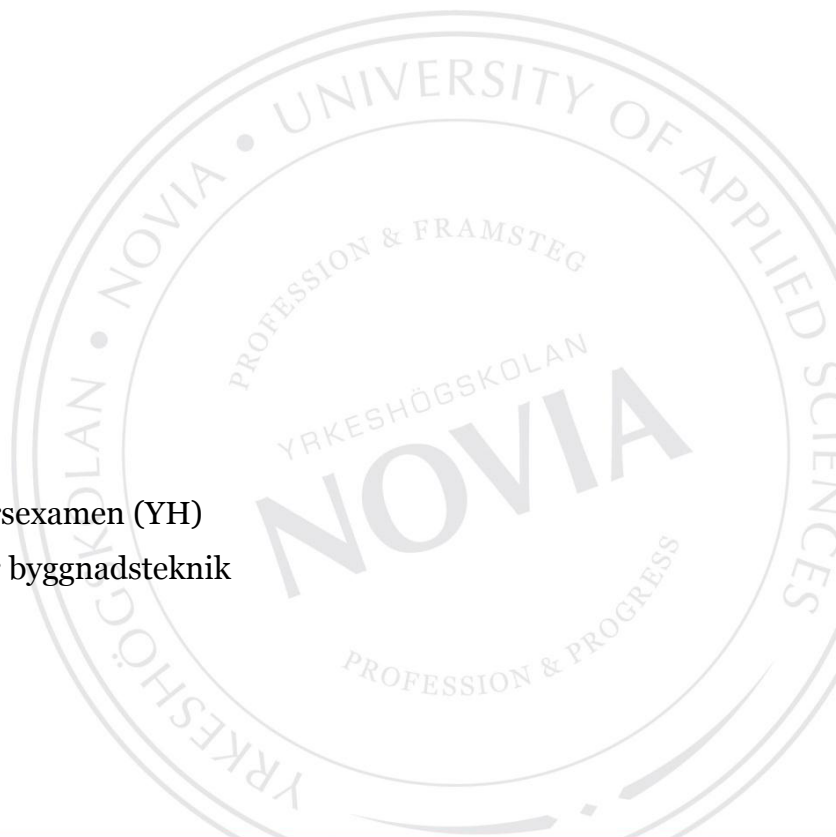


Volymproduktion av trähöghus

Johan Klemets

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik
Vasa 2013



EXAMENSARBETE

Författare:	Johan Klemets
Utbildningsprogram och ort:	Byggnadsteknik Vasa
Inriktningsalternativ:	Byggnadskonstruktion
Handledare:	Allan Andersson

Titel: *Volymproduktion av trähöghus*

Datum 25.4.2013

Sidantal 55

Bilagor 5

Abstrakt

I detta examensarbete har jag försökt förklara och kartlagt de förutsättningar som nu finns för att börja tillverka höga hus med trästomme. I Österbotten finns en stark tradition av att bygga prefabricerade trähus och nu gäller det att ta steget över till våningshusbyggande.

I övriga Europa har man i flera år byggt trähus med fler än två våningar, men här i Finland är man ganska långt efter i utvecklingen. Med detta arbete vill jag kartlägga de problem och möjligheter som finns med en övergång från egnahem till våningshus.

I och med skärpta miljökrav har trä kommit upp som ett mycket bra komplement till de redan etablerade byggsystemen med betong och stål. Resultatet av detta examensarbete visar att trähöghus nog har en framtid bara tillverkarna vågar satsa.

Språk: svenska

Nyckelord: trähöghus, volymtillverkning, elementtillverkning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Johan Klemets
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja:	Allan Andersson

Nimike: *Puukerrostalojen rakentaminen tilaelementtijärjestelmällä.*

Päivämäärä 25.4.2013

Sivumäärä 55

Liitteet 5

Tiivistelmä

Tämän insinöörityön tarkoitus on selvittää ja löytää mahdollisuuksia aloittaa kerrostalojen rakentaminen puurungolla. Pohjanmaalla on pitkä perinne rakentaa omakotitaloja suurelementeistä ja nyt on aika siirtää puurakentamisen painopiste kerrostaloihin.

Euroopassa yritykset ovat rakentaneet puukerrostaloja, joissa on enemmän kuin kaksi kerrosta, monen vuoden aikana, mutta Suomessa yritykset ovat monta vuotta perässä. Tämän insinöörityön kautta haluan löytää ongelmat ja mahdollisuudet jotka ilmenevät omakotitalorakennusjärjestelmän siirtämisestä kerrostaloon.

Kun ympäristövaatimukset ovat tiukentuneet, puu on hyvä kilpailija vanhalle järjestelmälle kuten betonille ja teräkselle. Oppinäytetyön tulos näyttää, että puukerrostaloilla kyllä on tulevaisuus jos valmistajat uskaltavat panostaa.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: puukerrostalo, tilaelementti, suurelementti

BACHELOR'S THESIS

Author: Johan Klemets

Degree Programme: Building Engineering

Specialization: Structural design

Supervisor: Allan Andersson

Title: *Modular building of multi-storey wooden houses*

Date 25.4.2013 Number of pages 55 Appendices 5

Summary

In this thesis I have tried to explain and identify the opportunities that now exist to begin producing multi-storey buildings with wooden frames. Ostrobothnia has a strong tradition of building prefabricated wooden houses and now it is time to take the step towards starting to build multi-storey buildings.

In Europe companies have for many years built wooden houses with more than two storeys, but here in Finland the companies are quite far behind. With this work I want to identify the problems and opportunities that exist in the transition from family homes to multi-storey buildings.

As the environmental requirements have been raised, wood has proved to be a very good complement to already established building systems such as concrete and steel. The result of the thesis shows that multi-storey wooden houses have a future if the manufacturers dare to invest.

Language: Swedish Key words: multi-storey wooden houses, prefabricated units, modular building

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Förord.....	1
1.2 Målet med uppgiften	1
1.3 Metoder	2
1.4 Problem	3
1.5 Avgränsning av arbetet	3
1.6 Översikt av innehållet	3
2 Brandskydd.....	5
2.1 Brandbestämmelser angående höghus i trä.....	6
2.2 Inre ytor.....	7
2.3 Yttre ytor.....	10
2.4 Förslag på lösningar	12
3 Buller och ljudisolering.....	13
3.1 Luftljudsisolering.....	13
3.2 Stegljudsnivåtal.....	14
3.3 Myndighetskrav	17
3.4 Anslutningar och material.....	18
4 Fabriksproduktion.....	19
4.1 Begränsningar och fördelar med förtillverkning	19
4.2 Elementtillverkning	20
4.3 Volymtillverkning.....	21
4.4 Erfarenheter från lokala tillverkare	22
4.4.1 Heikius Hus	23
4.4.2 Simons Element.....	24
4.5 Möjligheter till utveckling	25
5 Montering	26
5.1 Monteringssäkerhet.....	27
5.2 Anslutningsdetaljer	27

6 Köldbryggor och värmeisolering.....	29
7 Täthet och E-tal	31
8 Fukt.....	33
9 Räkneexempel	36
9.1 Laster	36
9.2 Bjälklag	37
9.3 Bärande yttervägg	37
9.4 Förstyvande mellanväggar	42
10 Resultat	48
11 Resultattolkning.....	49
12 Diskussion	50
13 Källförteckning.....	52

Bilageförteckning

Bilaga 1. Vindlastberäkningar i Excel

Bilaga 2. Puuvälipohjan värehtelymitoitushjelma: Beräkningar för bjälklag

Bilaga 3. Dimensionering av ytterväggstolpe

Bilaga 4. U-värdesberäkningar för yttervägg

Bilaga 5. E-postkommunikation med Anders Gustafsson och Mauritz Knuts

1 Inledning

1.1 Förord

Beställare till detta arbete är Vasaregionens utveckling AB, Vasek, som vill erbjuda ett användbart utvecklingsalternativ till regionens husfabriker, vilket i sin tur kan höja Vasaregionens konkurrenskraft. Handledare för arbetet har varit Allan Andersson och kontaktperson vid Vasek är Mauritz Knuts.

1.2 Målet med uppgiften

Målet för detta arbete är att försöka få igång volymproduktionen av trähöghus i Vasaregionen. Möjligheter finns då produktionen av egnahemshus av tradition är stark, men nu skulle det gälla att erövra nya marknader och där är våningshus med trästomme en möjlighet. Byggandet av trähöghus har inte ännu tagit fart här i våra trakter, men med största sannolikhet är detta en stor framtida marknad. Eftersom det i regionen redan finns etablerade företag inom trähustillverkning borde man kunna kombinera kunnandet i regionen och fylla denna outnyttjade marknadsdel.

Största hjälpen skulle finnas om Vasa stad eller någon av kommunerna i regionen skulle specificera detaljplaneringen, så att bostadsområden planerade för höghus skulle innehålla våningshus med trästomme. Man kan även försöka få till en konkurrenskraftig lösning som i pris och kvalitet kan jämföra sig med motsvarande höghus i betong eller stål.

I nuläget finns ingen stor konkurrens inom området, men med tiden kan både företag från södra Finland och från Sverige söka sig hitåt i sin iver att expandera och då måste Vasaregionen visa upp konkurrenskraftiga alternativ för att behålla arbetskraften här i trakterna. Vasek vill med denna undersökning visa att det finns en potentiell möjlighet att satsa på denna nisch och därmed bidra till en starkare region.

1.3 Metoder

Det gäller att kartlägga de problem som finns. Detta görs lättast och mest trovärdigt genom att besöka och intervjua de personer som arbetar inom branschen och vet vad som satt käppar i hjulet tidigare och vilka möjligheter till förbättring det finns. Dessa personer som arbetar för trähushusfabrikerna är även en bra källa för de kunskaper man behöver när det gäller förproduktionen. Förproduktionen är ju ett av kriterierna som ska uppfyllas och ställer krav på mått, vikt, transporter och monteringen. Monteringshandböcker framtagna av hustillverkarna är en av källorna till detta examensarbete.

En stor kunskapskälla är även internetsidan puuinfo.fi som är ett resultat av ett samarbete mellan otaliga finska aktörer inom träbranschen. De jobbar aktivt för att sprida information om och främja träproduktion. På sidan puuinfo.fi finns byggbestämmelser som gäller träbyggande och exempel på hur konstruktioner kan byggas upp för att uppfylla kraven som finns på ljud, brand och värmeisolering.

Ett resultat av puuinfo.fi:s arbete är standarden RunkoPES som kom ut hösten 2012. Här har man samlat olika förslag på stomtyper för trähöghus samt anslutningsdetaljer mellan de olika delarna. Alla dessa lösningar är testade och godkända så att de uppfyller kraven i eurokoderna. Genom att anpassa dessa förslag på lösningar till element och volymtillverkning, får man godkända lösningar som dessutom är möjliga att förtillverka inomhus i fabrikerna.

I Sverige har man redan etablerat ett effektivt koncept med trähöghus och den kunskap som finns där är mycket värdefull då det gäller att etablera ett liknade koncept här. Eftersom klimatet är lika och byggbestämmelserna blir alltmer likartade kan man använda deras erfarenheter då man kartlägger svårigheterna, samtidigt som de även har lösningar på dessa problem. Flera lösningar är samlade på webbsidan traguiden.se, som är en svensk motsvarighet till puuinfo.fi.

1.4 Problem

Att undersöka något som ännu inte finns är något problematiskt. Eftersom inga trähöghus har byggts här i våra trakter är det svårt att säga vad som borde göras si och så. Jag har försökt att ta tillvara den information som finns angående ämnet och tagit i beaktande de krav och normer som råder.

Ifall man har ett fungerande koncept och ett lyckat byggsystem är det skäl att hålla detta hemligt för de andra aktörerna på området. Om man vill vara ledande på marknaden gäller det att bevara sina hemligheter om man vill fortsätta vara den bästa. På grund av detta finns det inte så mycket material som ger svar på de problem man stöter på.

1.5 Avgränsning av arbetet

Det största problemet med detta och alla andra arbeten är att arbetet måste avgränsas. Någonstans måste man dra en gräns med vad som skall finnas med och inte. I detta arbete skulle det vara intressant att även ta upp folks åsikter och inställning gentemot höga trähus, hur folk upplever detta nya koncept. I en av källorna, ingenjörsarbetet ”Höga hus med trästomme i Göteborg” av Tobias Hellsborn & Rasmus Nilsson, ingår en opinionsundersökning av attityderna för och mot höga hus i trä. Något liknande skulle även kunna utföras här men pga tidsbrist fick detta utgå. Jag tror dock inte att folks åsikter är så pass olika, att de uppgifter som finns i det svenska arbetet skulle vara irrelevanta.

Andra intressanta infallsvinklar är studiebesök till pågående projekt där man skulle kunna tillämpa det man kommit fram till. Eftersom inga pågående projekt i skrivande stund finns tillgängliga i närheten måste denna del utgå.

1.6 Översikt av innehållet

Den första delen behandlar de två stora problemen med trähöghus, brand och ljud. Här presenteras lite mer grundligt på vilket sätt dessa problem påverkar byggandet av trähöghus. Myndigheternas krav presenteras samt förslag på olika lösningar som tillämpas både i Finland och i Sverige.

Den andra delen består av en sammanställning av förutsättningarna för tillverkning av trähöghus i Vasanejden. Först presenteras principerna bakom element- och volymtillverkning samt av monteringsprocessen, sedan lite synpunkter från de lokala tillverkarna här i trakterna.

Därefter presenteras kort övriga problem som uppstår i byggande överlag och inte specifikt för trähus. Dessa problem presenteras endast ytligt. Här ingår även ett räkneexempel på hur kraftiga konstruktionerna blir i ett våningshus av trä.

Till sist presenteras resultaten och de slutsatser som jag kommit fram till genom detta arbete. En avslutande diskussion tar upp ifall arbetet har uppfyllt sitt mål och mina egna synpunkter på detta arbete.

2 Brandskydd

Anledningen till att inga våningshus i trä byggts förrän på senare år har varit restriktioner i brandskyddet. Ifall automatiska släckningssystem installeras klassas ett flervåningshus med bärande trästomme i brandklass P2, vilket ger ett högsta tillåtna våningstal på åtta våningar. Detta möjliggjordes 2011 då brandkraven ändrades. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 2011)

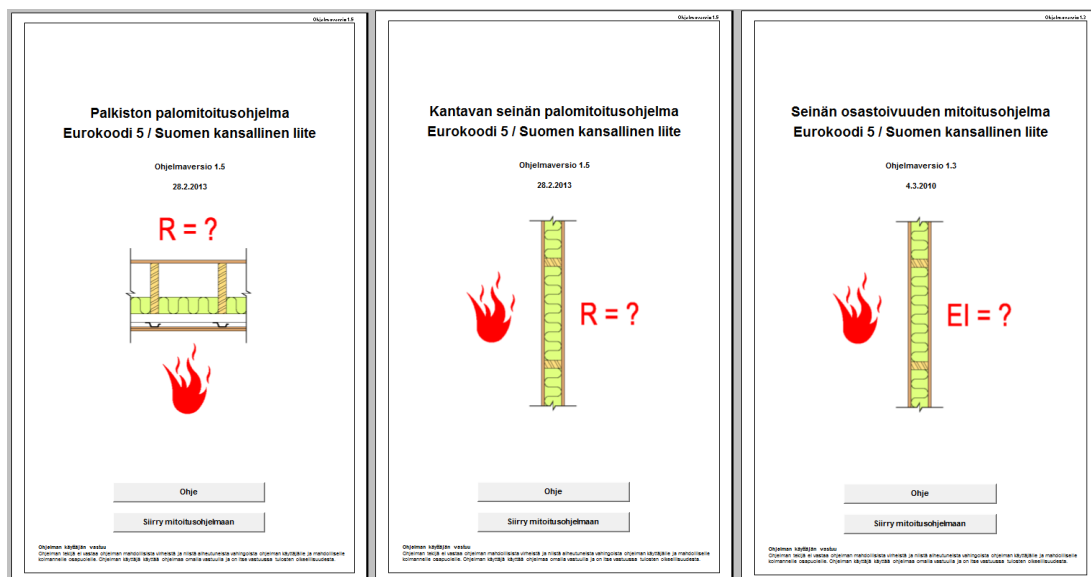


Figur 1. En brand kan vara förödande. För att förlänga byggnadens utrymningstid ställs vissa krav på höga byggnader med trästomme. (Puuinfo, Paloräystät, 14.6.2012.)

Enligt den opinionsundersökning Tobias Hellsborn och Rasmus Nilsson utförde i Göteborg (mars 2010) anser invånarna i Göteborg att brand är den näststörsta nackdelen med höga hus i trä. Största delen tyckte dock att det var lätt åtgärdat och ett icke-avskräckande problem. (Hellsborn & Nilsson (2010), s. 19–20)

Vid brand gäller det att bibehålla bärligheten hos konstruktionen. Trä brinner på det sättet att det yttersta skiktet förkolnas, medan det inre materialet behåller sin bärförmåga. På detta sätt kan man med lite större dimensioner hålla stabilitet och hållfasthet i huset länge nog att utrymma utrymmena. En svag punkt är dock anslutningar av järn som snabbt mjuknar och tappar sin bärförmåga. (Carling (2001), s. 191)

För att hjälpa trähusbyggare har Puuinfo på sin hemsida Excelprogram som bestämmer en konstruktion brandbeständighet. Programmen beaktar alla materials egenskaper och vilken inverkan yttre laster har på resultatet. Det finns olika program för balkar, bärande och sektionerande väggar. (Puuinfo.fi, Mitoitusohjelmat, u.å.)



Puuinfo har samlat olika beräkningsprogram för branddimensionering på sin hemsida. Det finns olika program beroende på vilken typ av konstruktion man vill beräkna. (Puuinfo.fi, Mitoitusohjelmat, u.å.)

De senaste två årtionden har man forskat flitigt i brand och hur den reagerar i hus med trästomme. Det i kombination med att teknologin med släckningssystem och varningssystem gått framåt har nu resulterat i att det nuförtiden tillåts mer fri användning av trä som stommaterial. (Fire safety in timber buildings, 2010)

2.1 Brandbestämmelser angående höghus i trä

I byggnadsbestämmelsesamlingen delas alla byggander in i tre olika brandklasser; P1, P2 och P3. Definitionen på vilken byggnad som hör till klass P2 beskrivs på detta sätt i E1:

”Kraven för bärande konstruktioner i en byggnad som hör till brandklass P2 kan i brandtekniskt avseende vara på en lägre nivå än för den föregående klassen. Tillräcklig säkerhetsnivå uppnås genom att ställa krav speciellt på egenskaperna för ytskikt och anordningar som förbättrar brandsäkerheten. Dessutom är byggnadens storlek och antalet personer begränsade beroende på användningssättet.”

Detta vill säga att trots att stommen består av ett lättantändligt material, trä, kan man med vissa åtgärder nå brandklass 2 trots att materialet med rätt hör till klass P3. Detta är

bakgrunden till att automatiska släckningsanordningar används i våningshus med trästomme. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 2011, s. 11).

Sprinklersystem finns i flera olika kravklasser och presenteras i standarden SFS-EN 12845 och SFS 5980. Vilken klass systemet hör till beror på utrymmet där det installeras, vattentrycket, flödet och funktionstiden.

Om våningsantalet överstiger fyra höjs kravklassen på sprinklersystemen från klass 2 enligt SFS 5980 till klass OH enligt SFS-EN 12845. Byggnader i brandklass P2 har ett högsta tillåtna våningsantal på åtta våningar. Den högsta tillåtna höjden är 26 meter.

2.2 Inre ytor

Brandkraven har skilda krav på materialets integritet (E), isolering (I) och med hänsyn till bärförmåga (R). Dessa tre delar har en angiven tid som motsvarar dess förmåga att stå emot brand. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 2011, s. 15).

Tidskravet beror på byggnadens brandlast, som varierar beroende på byggnadens användningsområde. För bostadshus är brandlasten mindre än 600 MJ/m^2 vilket ger ett krav på R60, dvs. konstruktionen måste bevara sin bärförmåga i 60 minuter. För förvaringsutrymmen på vinden eller i källaren gäller kravet R120 på bärande konstruktioner, eftersom brandlasten där är över 600 MJ/m^2 , om inte beräkningar visar på annat.

Därtill kommer krav på använda material. Som stommaterial får endast användas en byggnadsvara som lägst har klassen D-s2, d2, dvs. ”En vara vilkens medverkan till brand kan godkännas”(D), med ringa rökproduktion (s2) och med brinnande droppar som inte slocknar snabbt (d2). (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 2011, s. 6).

Tabell 1. Klasskrav för invändiga ytor

TABELL 8.2.2		KLASSKRAV FÖR INVÄNDIGA YTOR		
Användningssätt	Objekt	Byggnadens brandklass		
		P1	P2	P3
Bostäder	väggar och tak golv	D-s2, d2 ¹⁾ —	B-s1, d0 ²⁾ —	D-s2, d2 ¹⁾ —
Inkvarteringsutrymmen	väggar och tak golv	D-s2, d2 —	B-s1, d0 —	D-s2, d2 —
Vårdinrättningar	väggar och tak golv	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1	D-s2, d2 —

Anmärkningar till tabellen:

¹⁾ Mindre delar av väggytorna kan beklädas med byggnadsvara utan klass.

²⁾ Mindre delar av väggytorna kan beklädas med byggnadsvara av klass D-s2, d2. Detta gäller även väggar försedda med skyddsbeklädnad. Vägg- och takytor kan beklädas med byggvaror av lägst klass D-s2, d2 när utrymmet är utrustat med för ändamålet lämplig automatisk släckningsutrustning.

Anvisning:

Automatisk släckningsutrustning skall uppfylla kravnivån för klass OH i standarden SFS-EN 12845.

³⁾ Mindre delar av vägg- och takytor kan beklädas med byggnadsvara av klass B-s1, d0.

Tabell 1. I Finlands byggbestämmelsesamling E1 i tabell 8.2.2 fås kraven på vilka material som får användas som invändiga ytor. Valet av ytmaterial i trähöghus beror på vilket sprinklersystem som installeras.

Invändiga ytor i klass P2 byggnader har kravet k_2 30, vilket betyder användandet av byggnadsvaror i klass B-s1, d0. Denna klass motsvarar ett material med ytterst begränsad medverkan till brand och utan rökproduktion och brinnande droppar. En gipsskiva uppfyller detta krav. (Gyproc (2012) s. 438)

Ifall trämaterialiet brandskyddas med godkänd brandskydds-bets (exempelvis av Renotech Oy) kan man uppnå kravklass B-s1, d0, vilket är tillåtet enligt tabell 8.2.2 i E1.

(Renotech Oy, u.å.)

Om det automatiska släckningssystemet har kravklass OH kan invändiga ytor beklädas med materialklass D-s2, d2, vilket möjliggör användningen av oskyddat trä som ytmaterial, enligt fotnot 2 i tabell 8.2.2 i E1.

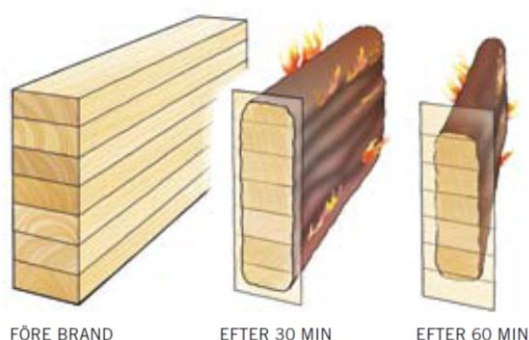
Trots att ytmaterialiet får vara av brännbart material måste man fortfarande skydda bärande konstruktion med skyddsbeklädnad enligt direktiven. Så ifall träpanel används inomhus måste det bakom denna finnas tillräckligt med brandskyddat material. (Byggnadsingenjör Tero Lahtela, föreläsning 20.3.2013)

Kravklass OH på släckningssystemet är inte ett måste i byggnader med två till fyra våningar, utan det räcker med klass 2. Ifall klass 2 används måste dock ytmaterialet uppfylla kravet A2-s1, d0.



Figur 2. Ifall invändig panel ska användas ställs krav på det automatiska släckningssystemet. Foto: (Puuinfo, Loimu-paneeli, Arvolista Oy)

Balkar och pelare får lämnas oskyddade ifall de är dimensionerade enligt brandkravet. Det vill säga att om brandkravet är REI 60, så bibehålls bärrigheten även efter en timmes brand. Den extra hållfastheten fås genom att öka på dimensionerna mer än vad som skulle behövas för den last som aktuell. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 2011, s. 26).



Figur 3. Trä brinner med konstant hastighet vilket gör att man kan räkna ut hur stor bärförmåga en balk har efter en timmes brand. Ifall man efter en timmes brand har tillräcklig bärförmåga för gällande krafter är balken brandskyddad för kravet R60. (Martinsons, Projekteringsguide).

Även isoleringen har kravet A2-s1, d0, vilket förbjuder användningen av träbaserad isolering. Isovers bergullsskiva har klassen A2-s1, d0, medan ekovillas träfiberull tillhör klass D (RT-kort 38196 och RT-kort 38193).

2.3 Yttre ytor

För fasadmaterialet krävs klass B-s2, d0, vilket innebär material som brinner dåligt, såsom plåt, mineralbaserade skivor eller brandskyddsbehandlat trä. I fall man vill använda material i klassen D-s2, d2 måste man i ventilationsspalten bakom fasadmaterialet ha en konstruktion som förhindrar brandspridning.

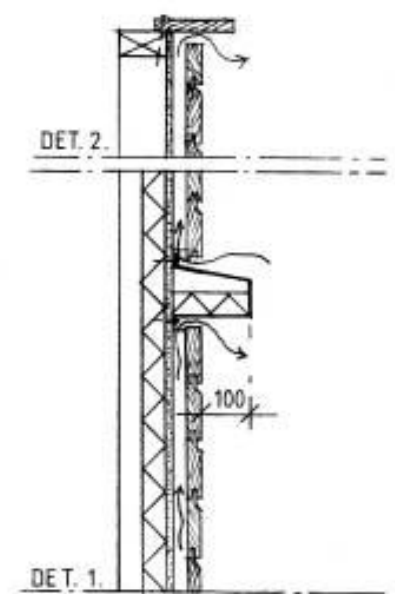
Brandspridning kan förhindras både genom att använda material som inte bidrar till brand eller genom att i konstruktionen bygga ”omvägar” för eventuell brand, så att konstruktionen längre kan bevara sin stabilitet.

Andra krav som tillkommer då D-s2, d2 material används är att skydda spridning av brand från fasad till vind och vindsbjälklag, nedfall av stora delar från fasadkonstruktion och att byggnader eller konstruktioner inte placeras närmare än åtta meter från fasaden. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 2011, s. 25).

Detta betyder att om träpanel skall användas (panel är klassat D-s2, d2) kan man inte bygga luftspalten obruten hela vägen. Ett exempel på en brandspärr är en (enligt figur 4) utskjutande profil som bryter luftspalten. En stålprofil med hål kan även användas, hålets area måste då vara minst 5 % av den ursprungliga arean (Puuinfo.fi, Puujulkisivun palokatko, 18.8.2011).

Stålprofilen är dock att föredra då denna inte stör fasadens utseende och är lättare att montera. Den utskjutande profilen gör att nederbörd samlas ovanpå profilen och bidrar till fuktskador samt att det är en idealisk plats för fåglar att rasta på. (Byggnadsingenjör Tero Lahtela, föreläsning 20.3.2013).

Materialet innanför träpanelen, på luftspaltens insida, måste dock vara klassat A2-s1, d0. Detta betyder att en gipsbaserad vindsyddskiva bör användas. (Gyproc, 2012 s. 438).



*Figur 4. Exempel på hur brand förhindras att spridas uppåt via luftspalten.
(Karjalainen, 1997).*

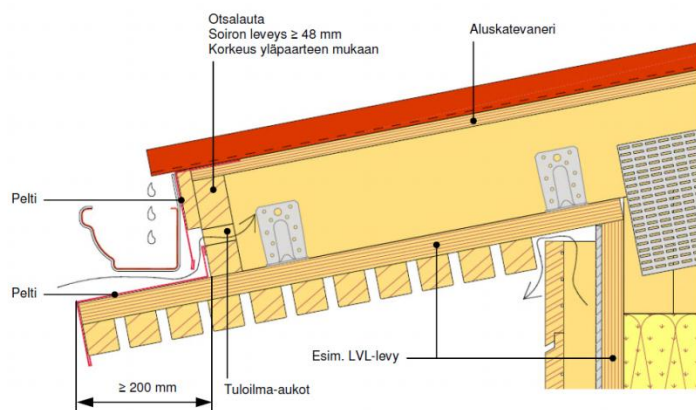
Den nedersta våningen har oavsett åtgärder kravet B-s2, d0 på utsidan. Ytan kan då brandskyddas eller så används icke-träbaserade material istället. (Puuinfo, puu pintamateriaalina, 1.3.2013).

2.4 Förslag på lösningar

Vid hus med över fyra våningar är sprinklersystemet med klass OH ett måste. Då detta system används kan ytmaterialiet inomhus väljas fritt av arkitekten. Ifall våningsantalet är under fem kan klass 2 sprinklersystem installeras, vilket medför att väggar och tak inomhus måste bekläs med exempelvis en gipsskiva. Ifall arkitekten har önskemål om att till exempel träpanel skall användas inomhus måste sprinklersystemet uppgraderas till kravklass OH.

Som yttre ytmaterial går träpanel att använda ifall en brandspärr används vid nivån för mellanbjälklaget. Alternativt kan cementbaserade träskivor användas som ytmaterial. Detta kan dock kännas lite ”onaturligt” då resten av huset är byggt med träprodukter.

För att förhindra att branden sprids från fasad till vindsbjälklag måste takfoten skyddas med en brandbeständig konstruktion med kravet EI 30. Takets utskift kan förlängas för att förhindra brandspridningen från panelens luftspalt till vindsbjälklagets ventilationsutrymme. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling EI 2011, s. 25).



Figur 5. Exempel på hur takfoten brandskyddas. Ytterpanelens ventilation är helt skilt från mellantakets ventilation. (Puuinfo, Paloräystät, 14.6.2012)

Tester visar också att vid brand så ändras lufttrycket så att luftströmmen går ”andra vägen” ut från bjälklaget, vilket bidrar till att förhindra branden att genom drag sugas in i byggnaden. (Byggnadsingenjör Tero Lahtela, föreläsning 20.3.2013)

Ett annat exempel är att använda för ändamålet specialtillverkade ventiler. Takfotsventilerna släpper igenom behövlig ventilationsluft till vindsbjälklaget, men vid brand stängs ventilen och uppfyller kravet på en EI 30 brandbeständig konstruktion. (FB-räystäsventtiili, 24.6.2007).

3 Buller och ljusisolering

För att höja på livskvaliteten vill man minimera störande moment i vardagen. Buller från trafik och ljud från grannar är två störande moment som är av största vikt att reducera så gott det går. Trähus har på grund av dess lägre densitet svårare än betonghus att ta bort buller från omgivningen.

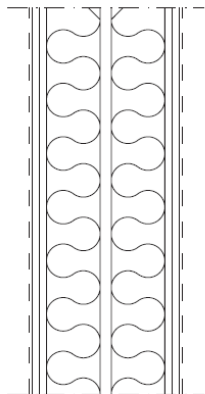
Buller från omgivningen kan uppkomma av bil-, tåg-, flygtrafik eller dylikt. Om inte krav på ljudisoleringen ställs i planbestämmelserna kan man undvika det mesta av bullret genom att placera byggnaden så att det mesta av bullret inte stör. En ”tyst sida” på innergården är ett förslag på hur man undviker buller. (Åkerlöf 2001, s. 20–21).

Buller och ljud från ventilation har krav att uppfylla, men man kan även ta med detta i planeringen och låta bli att placera ventilationsrum nära känsliga utrymmen som t.ex. sovrum.

3.1 Luftljudsisolering

Luftljudsisolering innebär förmågan att dämpa ljud från ett annat utrymme. Ljuden kan vara samtal, musik eller liknande. Luftljudet består av flera olika frekvenser och olika material reagerar olika på frekvenserna. En trävägg med gipsskivor tar lätt bort höga frekvenser, medan den släpper igenom låga toner som till exempel basen från en stereo. En betongvägg fungerar nästan tvärtom, den tar bort de låga frekvenserna, men kan i stället släppa igenom de höga tonerna som till exempel från då en telefon ringer. (Åkerlöf 2001, s. 13–14).

Det gäller att hålla konstruktionen intakt för att bevara ljudisoleringen. Vid hål för el- och VVS-installationer samt där mellanväggen möter ytterväggen kan det mycket väl förekomma otäta springor där ljudet slipper in. (Åkerlöf 2001, s. 98–99).



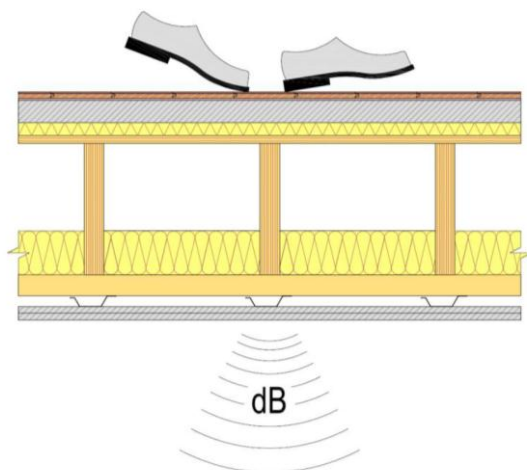
20...30 mm	Seinäpinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan
97 mm	Rakennuslevy palomitoituksen mukaan, 2-kertainen rakennuslevy, pintalevy A2-s1, d0, suojaverhouksen palonkesto aika vähintään 10 minuuttia
20...50 mm	Kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan, puurunko k 600, mitallistettu
97 mm	Ääneneriste, mineraalivilla
20...30 mm	Ilmaväli
97 mm	Kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan, puurunko k 600, mitallistettu
20...30 mm	Rakennuslevy palomitoituksen mukaan, 2-kertainen rakennuslevy, pintalevy A2-s1, d0, suojaverhouksen palonkesto aika vähintään 10 minuuttia
	Seinäpinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Figur 6. RT-kort 82-10903 har exempel på mellanväggar samt deras luftljudsisoleringsförmåga. Den ovan avbildade vägg klarar av ljudisoleringskravet 55 dB som i Finland gäller mellan två lägenheter.

Alla väggkonstruktioner har ett unikt luftljudisoleringsstal som berättar hur mycket ljud konstruktionen filtrerar bort vid en viss frekvens. Detta värde kan ha stora variationer mellan teoretiska och praktiska värden. För att med en vägg med trästomme nå upp till de krav som finns för lägenhetsavskiljande mellanväggar är den smidigaste lösningen att bygga två separata väggar med minst 20 mm mellanrum. (RT 82-10903, VS 706).

3.2 Stegljudsnivåtal

Stegljudsnivå är det ljud som uppkommer då någon går eller leker på våningen över. Detta ljud har en lägre frekvens än annat ljud, vilket skapar problem för material med lägre densitet. Högre frekvenser tas lätt bort av vanlig isolering, men det dovare ljudet av steg från övre våningen måste man oftast ha ett material med högre densitet för att få bort.



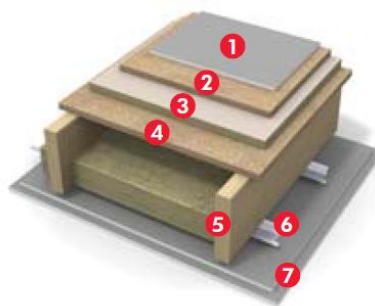
Figur 7. Stegljud är ljudet som sprider sig genom golvet till våningen under. (Puuinfo, Palkkivälipohjan ääniteknikka, 24.8.2011)

I våningshus där stommen är av trä, dvs. ett lättare material än betong och stål, skapar stegljuden stora problem. Mellanbjälklagen måste då fyllas på med ett annat material som tar bort dessa ljud. Materialet som är bäst anpassat att ta bort är betong pga. dess stora densitet. (Åkerlöf 2001, s. 241–242).

I RunkoPES har flera av mellanbjälklagslösningarna ett översta lager av betong just för detta ändamål. Nackdelen med betong är att man är beroende av torktiden innan man kan fortskrida med arbetet, och därför skulle det vara lämpligare med ett annat material med motsvarande egenskaper. Ett exempel på det är Parocs lösning (se Figur 8) med gips i stället för betong.

Puinen välipohja

- 1 lattiapinnoite (parketti tms.)
- 2 2 x lattiakipsilevy GL 15 / Gyproc Oy tai Lattia-Wilhelmi / Puhos Board Oy
- 3 PAROC SSB 2t
- 4 Wilhelmi lastulevy / Puhos Board Oy
- 5 lattiakannattajat välissä PAROC eXtra ja/tai PuhallusVuorivilla rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan
- 6 Gyproc jousiranka
- 7 mahdollinen paloluokkavaatimus huomioiden GN 13 tai GN 13 + GF 15 / Gyproc Oy tai sisäverhouslevy Wilhelmi/ Puhos Board Oy



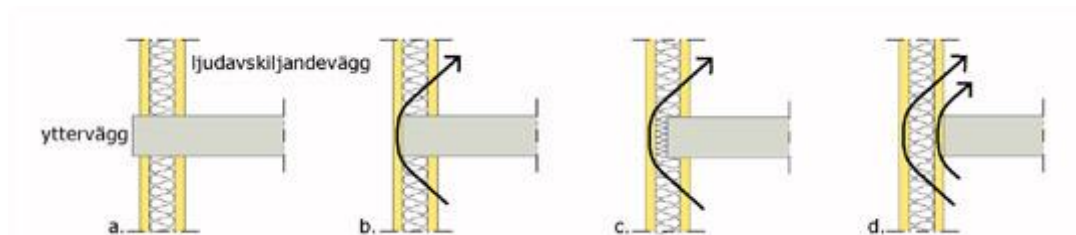
Figur 8. Parocs lösning för flytande golv, där två lager golvgipsskiva utgör den ljudabsorberande massan. På den undre delen av bjälklaget används två lager gipsskivor med fjädrande upphängning. (Paroc, flytande golv 2005).

En bjälklagskonstruktion utan betong kan även uppnås med hjälp av volymmoduler. Om man placerar 1-våningshöga moduler ovanpå varandra, bildas ett naturligt mellanrum. Ett naturligt luftutrymme mellan modulerna tar effektivt bort överflödigt ljud. Nackdelen med detta är att mellanbjälklagen blir tjocka, upptill 500 mm. (Hellsborn & Nilsson 2010, s. 7–8). Denna lösning är dock helt naturlig för småhusbyggare då den består av flera småhus på varandra.

Mätningen av stegljudsnivåtal utförs med en standardiserad hammarapparat som slår på bjälklaget samtidigt som en mikrofon tar upp ljudet i rummet under. Det finns företag som utför dessa mätningar som har behövlig utrustning.

3.4 Anslutningar och material

Det är inte bara stegljudsnivån och luftljudet som skapar problem. Ljudet kan även spridas via avgränsande byggnadsdel (se Figur 9). Det fenomenet kallas flanktransmission och undviks bäst genom att som i bilden till vänster i figuren dra ut bjälklaget så att inget ljud slipper att spridas direkt genom väggen.



Figur 10. Flanktransmission mellan två våningar. Bilden till höger har sämsta ljudisoleringsförmågan. (Träguiden, Generellt om akustik och ljud, u.å.)

Det är svårt att på förhand säga hur ljudet reagerar i olika konstruktioner. Man kan få riktgivande värden på hur bra ljudisolering en konstruktion har, men den slutgiltiga ljudisoleringsförmågan fås endast genom mätning då byggnaden är färdig.

(Åkerlöf 2001, s. 240)

En kombination av gips och mineralull fungerar bra som mellanväggskonstruktion och får ännu bättre ljudisoleringsförmåga om man använder akustikprofiler av stål istället för träreglar. (Åkerlöf 2001, s. 83)

I RunkoPES visas goda exempel på hur man i anslutningarna förhindrar att ljudet sprider sig. Alla mellanrum fylls ut med isolering och inga genomgående material från övre till undre våningen.

Buller från ventilationskanaler och avlopp fås smidigast bort genom att man drar installationerna utanför lägenheterna i hisschakt eller trapphus, eller att VVS-montörerna installerar behövliga ljuddämpare.

4 Fabriksproduktion

Våningshus i trä kan primärt byggas på tre olika sätt: Pelar-balksystem, CLT-massivträsystem samt elementsystem. (Hellsborn & Nilsson 2010, s. 5) Jag kommer i detta arbete endast att fokusera på elementsystemet då detta är det system Vasanejdens husfabriker använder i sitt husbyggande. Som en del av elementsystemet räknas även volymmoduler, små husdelar redo att lyftas på plats. Modulbyggandet är också det en välkänd teknik här i trakten. (Hemming 2012, s. 25)

Fabriksproduktion är den mest ekonomiska lösningen just nu. I fabriken kan man koncentrera arbetskraften på de projekt som är aktuella just då, och allt material beställs till samma plats. Då platsen dessutom är skyddad för väder och vind blir detta produktionssätt både kostnadseffektivare samt att man får ett bättre resultat. (Elwing & Sjögren 2006, s. 50)

4.1 Begränsningar och fördelar med förtillverkning

De enda nackdelarna som finns för förtillverkning är egentligen att man binder sig att använda elementsystemet som stomteknik. Alla fördelar med pelar-balk och massivträtekniken kan man inte utnyttja, vilket tar ner på variationsmöjligheterna något.

Pelar-balk- och massivträtekniken är visserligen även de prefabricerade, men eftersom fabriken i våra traker har kunskaper inom elementtillverkning, tas endast för- och nackdelarna för elementsystemet upp.

Till elementsystemets fördel kan räknas att man kan förbereda inredningen nästan fullt ut innan man kör ut hela huset till monteringsplatsen. Volymmodulerna är även smidiga att montera och alla inre ytor förblir väderskyddad under hela byggtiden.

Transporten från fabrik till byggarbetsplats bestämmer hur stora dimensioner man kan tillverka. Om bredden överstiger 3,5 m ska en följebil och skylt med texten "LEVEÄ KULJETUS" vara närvarande. (Trafikministeriets beslut 1715/1992 kap 6 26 §)

De mest förekommande dimensionerna på volymmoduler är 12 x 4,2 x 3,2 m
(Puuinfo, Kerrostalo, u.å.)

Gränsen för höjden är 4,4 meter, men eftersom rumshöjden sällan överstiger 3 m behöver elementen eller volymerna inte vara fullt så höga. Beroende på var byggplatsen finns kan hinder på vägen förhindra att fullstora volymmoduler används.

4.2 Elementtillverkning

Vid elementtillverkning färdigställer man väggar och bjälklag i fabriken och levererar sedan alla delar till byggplatsen. Hur långt man färdigställer elementet kan variera, men det är möjligt att ha hela konstruktionen intakt med gipsskiva på insidan och fönster färdigt installerade samt fasadytan färdigställd.

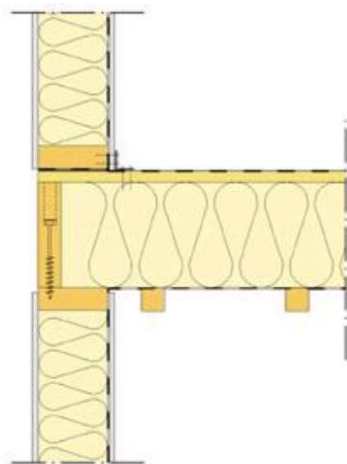
Elinstallationerna i väggarna kan byggas in redan i fabriken, vilket förkortar elmontörens arbete på fältet. Eftersom inga ändringar kan göras efteråt måste all planering vara färdig innan produktionen sätter igång. (Träguiden, Slutna element, u.å.)

Bjälklagen anslut antingen ovanpå de våningshöga elementen, så kallat plattformssystem, eller så hängs bjälklaget upp med balkskor innanför elementet. Fördelen med plattformssystemet är att man då får en plattform att utgå från då man fortsätter med nästa våning.

Ursprungsidén med plattformssystemet är att man på arbetsplatsen bygger element som sedan reser upp till sin givna plats. Allt material är färdigt kapat och märkt så att bygget ska gå så snabbt som möjligt. Endast stommen färdigställs så att arbetarna orkar resa elementet med handkraft medan materialet lyfts upp med kran.

En del av plattformstekniken kan användas med färdiga element genom att det lösa materialet till mellanväggar och färdigställande av golv kan levereras som färdigkapat och måttsett virke. Man kan göra stora tidsinbesparningar ifall färdigkapat virke används, men detta kräver även stort planeringsarbete.

Hur stor del som man producerar på förhand i fabriken kan man fritt välja beroende på projekt. Eventuellt kan man lämna bort sista skålningen på ytterväggarna för att sedan dra alla installationer och färdigställa väggen efter montering. (Träguiden, Platsbygg/öppna element, u.å.)



Figur 11. Element monterade med plattformstekniken. Bjälklaget monteras ovanpå ytterväggselementet och skruvas fast uppifrån. (Träguiden, slutna element u.å.).

Fördelar med att använda elementbyggande för högre hus är främst erfarenheten att bygga med storelement som finns runt om i vårt land, där det finns stora möjligheter för utveckling. Man kan till exempel leverera träelement till hybridhus med betongstomme och träfasad ifall man inte vill bygga huset helt i trä. (Puuinfo, Kerrostalo, u.å.)

4.3 Volymtillverkning

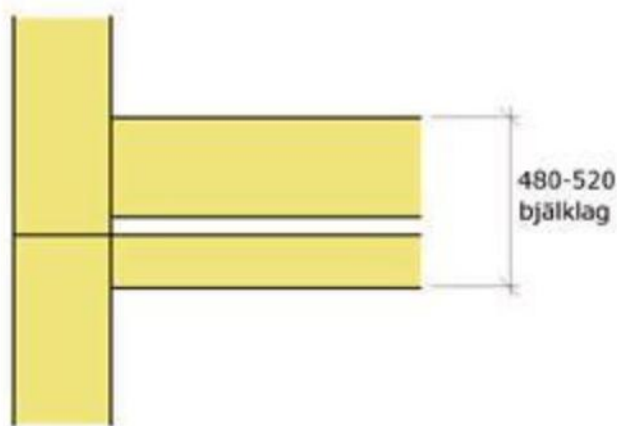
Volymmodultillverkningen har utvecklats ur regelsystemet då man eftersträvat kortare byggtider utomhus. Efterfrågan har också varit ganska hög då kunderna tilltalas av ett inflyttningsklart hus med nyckeln i hand.

En klar fördel som talar för modultillverkning är att man kan utföra målning och våtrumsarbeten inne i fabriken. Då undviker man torktider och kan gå vidare till nästa projekt direkt. Det är även möjligt att bygga energisnåla lösningar.

(Puuinfo, Kerrostalo, u.å.)

Vid modultillverkning kan man förbereda el- och vatteninstallationer till den grad att det är bara att koppla ihop systemen på byggplatsen. Ifall golvvärme önskas installeras denna även på förhand i fabriken. (Nygård 2011, s. 3).

Eftersom modulernas bredd begränsas av transporten drar detta ner på variationsmöjligheterna för planlösningen.



Figur 12. Då volymmoduler används bildas ett utrymme mellan de båda bjälklagen som bidrar positivt till ljudisoleringen. Nackdelen blir att bjälklagen ökar något i tjocklek. (Träguiden, Volymelement, u.å.)

Logistiken är viktig då man monterar varje modul från lastbil direkt till byggplatsen. Ifall man har mellanlagring av moduler kan skador på konstruktionen eller ytmaterialet uppkomma då varje lyft och nedsättning är en stor påfrestning för modulen. (Träguiden, Volymelement, u.å.)

4.4 Erfarenheter från lokala tillverkare

Trähusbyggande är en bekant näring här i våra trakter. Flera fabriker finns där man har fabrikstillverkning av element och volymmoduler, dock i nuläget endast för småhus. I framtiden är det dock sannolikt att dessa fabriker utökar sitt utbud med lösningar även för flervåningshus.

För att få en bild av hur läget är bland tillverkarna här i trakterna utfördes några intervjuer, där folk från företagen fick svara på några frågor angående framtida planer.

4.4.1 Heikius Hus

Heikius Hus har sin fabrik i Kaitsor i Vörå kommun och har tillverkat elementhus sedan år 1972. Volymhus började tillverkas 2006. (Heikius Hus, u.å.). VD Göran Heikius svarar på frågorna:

I dagsläget planeras ett 4-våningshus i Gerby, Vasa. Byggnaden skulle byggas av volymmoduler, vilket ställer krav på planeringen då det gäller att anpassa planlösningen till modulernas storlek. Tidigare erfarenheter av våningshus i trä har företaget då man år 2001 byggde ett 4-våningshus i Malmö i Sverige.

Intresset från Vasa stads sida verkar vara gott, då Heikius upplevde att man fått reservera tomten på grund av att det just var ett trähus man planerade.

Vid bygget i Sverige använde man element, men Heikius anser inte att övergången till moduler skulle vara problematisk. Ett problem som uppstår är vid valet av fasadmateriäl, ifall panel används måste fasaden antagligen målas efter ca tio år vilket blir en stor kostnad. Någon form av skiva eller plåtfasad skulle vara alternativet.

Priset jämfört med betonghus i samma storlek uppskattar Heikius inte skulle skilja nämnvärt. Efterfrågan på lägenheterna tros varken stiga eller sjunka på grund av att trä används. Kunderna går nog endast på priset.

Att höghusbyggandet skulle konkurrera ut den egna produktionen av egnahem tror inte Heikius heller, lönsamheten är nog ungefär lika stor oavsett projekt. (Intervju med Göran Heikius 4.2.2013).

4.4.2 Simons Element

Simons Element har en elementfabrik i Vörå som grundades 1978. Utbudet utökades med volymtillverkning år 2004. (Simons Element, u.å). Produktionschef Allan Hagberg svarar på frågorna:

I nuläget finns planer på ett 3-våningshus i Vörå centrum. Tillverkningssättet skulle vara moduler. Företaget har ingen erfarenhet från tidigare bygget, men man förhandlar med ett företag i Sverige om att köpa ett koncept.

De problem man stött på finns i detaljplanen som endast tillåter byggnader i två plan. Man har sökt undantagstillstånd, men har inte fått godkännande av alla berörda grannar. Kommunen har varit positivt inställd, men eftersom detaljplanen redan är godkänd är undantagstillstånd den väg man måste gå.

Hagberg tror på en framtid för konceptet och efterfrågan tros finnas. Erfarenheter från Sverige visar att det går att bygga 8-våningar billigare än vad man nu gör med betongstomme. En framgångsrik nisch tror Hagberg finns i halvurbana miljöer där många gamla människor gärna skulle bo i hisshus, men inte vill flytta in till staden. Problemet är då detaljplanerna som ofta är begränsade.

Ett annat område som kan vara värt att satsa på och visat sig vara framgångsrikt i Sverige är studentbostäder. Studentbostäder är oftast mindre än andra bostäder, vilket talar till volymmodulernas fördel samtidigt som man inte behöver beakta inredning och design i samma grad som med bostäder för den fria marknaden.

Hagberg tror att efterfrågan skulle vara hög, då traditionen att bo i trähus är så stark i Österbotten. Speciellt på lite mindre orter där höga trähus inte skulle skilja sig från övriga bebyggelsen så mycket. (Intervju med Allan Hagberg 4.2 2013).

4.5 Möjligheter till utveckling

Vid användning av element har man större frihet att variera planlösningen efter kundens behov. Då det gäller volymer är planlösningen kopplad till modulernas begränsade bredd och ger därmed mindre variationsmöjligheter. Då man går över att producera våningshus måste man kompromissa ännu mera för att få till en väl avvägd balans mellan design och kostnad.

Det kan ta ett tag innan man hittar den lösningen som fungerar bäst, så man kan inte förvänta sig att den första lösningen är den som man slutligen bygger sitt koncept runt.

5 Montering

Monteringen ställer höga krav på samarbete mellan logistik, fabrik och monteringspersonal. Eftersom så många människor är inblandade blir arbetet snabbt dyrt om det inte löper som det ska.

En klar fördel som trähus har jämfört med betong är att trä är ett lättare material. Därför kan man dra ner på kostnaderna för både transporten och monteringskranen. Eftersom antalet moduler ökar drastiskt vid ett våningshusbygge jämfört med egnahemsbyggen, ställer detta stora krav på administrationen och logistiken.



Figur 13. Montering av modulvolym i Sverige. Foto: Lindbäcks. Tommy Wiklund

För att monteringen skall ske så smidigt som möjligt är det viktigt att en noggrann monterings- och tidsplan uppgörs före monteringen. Monteringsplanen skall innehålla platsbeskrivning av arbetsplatsen, mottagning och mellanlagring av elementen, lyft och monteringsordning m.m. (Ratu TT 05-00442, Elementtien asennussuunnitelma, s.1)

Ifall monteringen sker vintertid tar processen mera tid än under normala förhållanden. Enligt Ratu-net förlängs tiden med 20 % vid temperaturerna -2,5...-7,5. (Ratu 25-0392, Väli- ja ulkoseinäelementtityö, s. 4)

5.1 Monteringssäkerhet

För att monteringen skall ske så smidigt som möjligt är det viktigt att man förbereder allt ordentligt i fabriken. Lyftöglor skall placeras så att elementet eller modulen är i jämvikt i lyftet så inga farliga situationer uppstår. Inför transporten till byggsplatsen förbereder man så mycket som möjligt, alla delar numreras och lastas i rätt ordning på lastbilen och man kontrollerar att allt löst material finns tillgängligt. (Hemming 2012, s. 6).

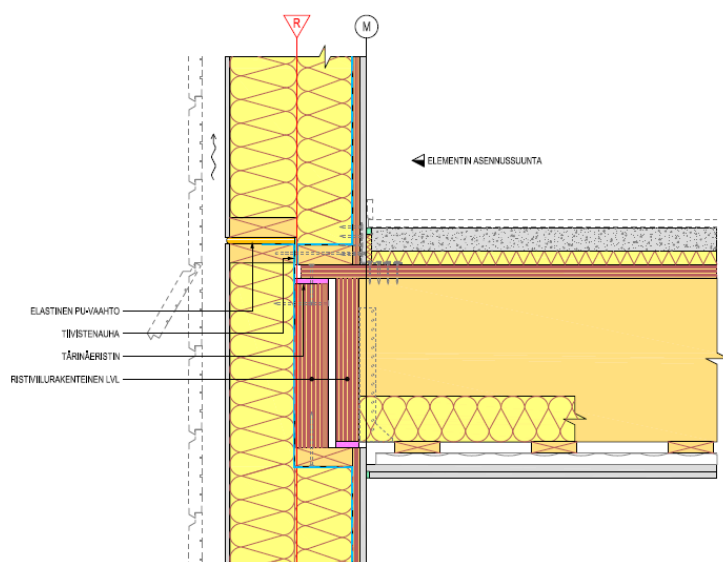
En viss flexibilitet med val av monteringsdag är positivt. Väder och vind kan ställa till det både säkerhetsmässigt och kvalitetsmässigt. Man bör undvika att montera i hård vind på grund av säkerheten och för att förebygga fuktproblem är det bäst att monteringen sker på en dag utan nederbörd.

För att säkerställa att monteringen är säker är det viktigt att man följer alla anvisningar och att alla använder den utrustning som man blivit tilldelad. (Ratu TT 05-00442, Elementtien asennussuunnitelma, s. 4)

För att vara säker på att huset hålls torrt från väder och vind kan man använda så kallade monteringsält som man bygger under. Monteringen kan ta lite längre omält används, men med ett fuktsäkert slutresultat i stället. Monteringen avältet skall även den ingå i monteringsplanen. (Träguiden, Vädskydd, u.å.)

5.2 Anslutningsdetaljer

Behovet av detaljer på anslutningarna är viktiga så att montörerna utför dessa korrekt. Detaljerna ritas av konstruktören och skall innehålla tydliga anvisningar hur anslutningen skall utformas.



Figur 14. Alla ståldetaljer är dolda inne i konstruktionen och är därmed skyddade för brand. (Puuinfo, RunkoPES, 2012).

Ytterväggarna måste kunna överföra krafterna från överliggande våning. Detta innebär att varje anslutning måste ha en större hållfasthet än vad grundkonstruktionen har. Om bultar och skruvar används kan de med fördel byggas in i konstruktionen så att de blir skyddade för eventuell brand och behåller sin hållfasthet. (Carling, 2001, s. 191)

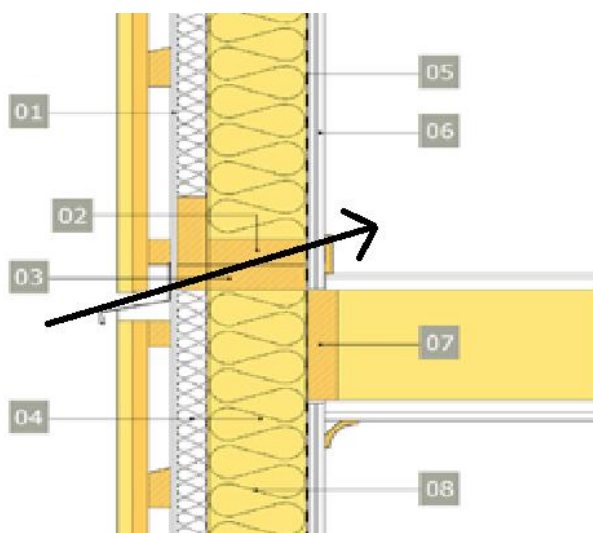
Anslutningarna måste även vara utförda så att man kommer åt att skruva fast allting på ett smidigt sätt. I monteringsplanen skall det stå i vilket ordning de olika delarna lyfts på plats och när de skall fästas i varandra.

Elementtillverkaren har angett tillåtna avvikelser i höjd och sidled. Efter avslutad montering skall dessa avvikelser kontrolleras innan arbetet godkänns.

6 Köldbryggor och värmeisolering

Samma U-värdeskrav gäller för höghus i trä som för vanliga trähus. Eftersom väggens tjocklek vid höga hus bestäms av träets hållfasthet snarare än behovet av värmeisolering, blir inte U-värdet kritiskt. Dock kan man med tanke på byggnadens energiförbrukning minimera köldbryggor och värmeläckage.

På ett vanligt 2-plans hus är anslutningen mellan mellanbjälklag och yttervägg en vanlig köldbrygga. Då kan man tänka sig att vid ett 8-våningars höghus i trä återkommer denna kritiska anslutning 7 gånger. Ifall man minimerar värmeförlusten vid dessa både kritiska och återkommande anslutningar blir hela byggnadens energiprestanda mångfalt bättre.



Figur 15. En köldbrygga innebär att kylan utan avbrott leds in i byggnaden av ett material med sämre isoleringsförmåga. (Träguiden, Anslutning mot mellanbjälklag, u.å.)

Över hela bygganden gäller det att utföra alla moment i byggskedet korrekt så att resultatet blir så bra som möjligt. I skarvarna mellan elementen och vid fönster och dörrar finns potentiella köldbryggor som kan minska på byggnadens energieffektivitet.

Som värmeisolering kan endast användas material brandklassade som A2-s1, d0, vilket innebär att träbaserade material inte får användas. Detta är synd då trä annars marknadsförs som ett naturligt och ”rent” material.

Köldbryggor delas in i materialbaserade och geometriska köldbryggor. De geometriska köldbryggor uppstår i hörn, där den yttre ytan är större än den inre. Om ett hus har många brytningar och extra hörn inverkar detta negativt på byggnadens värmeeffektivitet. (Isover, Konstruktioner, u.å.)

7 Täthet och E-tal

Byggnadens täthet har betonats mer de senare åren. År 2012 trädde nya byggbestämmelser ikraft, där E-talet skall beräknas. E-talet är byggnadens energiprestanda, beroende av byggnadens täthet, volym och uppvärmningssätt.

Kravet för flervåningshus är 130 kWh/m² per år. Då man mäter byggnadens volym beaktar man även fönstrens placering och hur stor procent dessa är av den totala mantelarean. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling D3, s. 9)

Luftläckaget fås genom en mätning där man höjer trycket inne i lägenheten med 50 kPa och ser hur mycket som läcker ut. I flervåningshus räcker det dock att mätning utförs i endast 20 % av lägenheterna. Om inga mätningar utförs antar man standardvärdet 4,0 (1/h), vilket betyder att luften i så fall byts ut fyra gånger på en timme då trycket har höjts med 50 Pa. (Finlands Byggnadsbestämmelsesamling D3, s. 11)

E-talet är även beroende på byggnadens uppvärmningssätt. Den totala energiförbrukningen viktas med en energiformfaktor för att erhålla det verkliga E-talet. Om huset byggs i tätort är det sannolikt att huset ansluts till fjärrvärme vilket innebär att en faktor på 0,7 används.

2.1.3

Energiformsfaktorerna är följande:

– el	1,7
– fjärrvärme	0,7
– fjärrkyla	0,4
– fossila bränslen	1,0
– förnybara bränslen som används i byggnaden	0,5

I Finlands byggbestämmelsesamling D3 presenteras formfaktorer för olika energikällor.

Då man räknat E-talet fås ett energicertifikat för lägenheterna. Certifikatet ger ett betyg på skalan A–G. Ett gott betyg kan fungera som försäljningsargument för lägenheten. (Energiatodistus, u.å.).

Trähöghus kan även byggas som passivhus med minimal energiåtgång. Tätheten kontrolleras då extra noggrant för att uppnå klass A i E-talsberäkningen. Gränsen för att ett hus i Finland skall klassas som passivhus är ett luftbyte på 0,6 (1/h) samt 20–30 kWh/m² i energiåtgång/år. (VTT-passivhus, u.å.).

8 Fukt

Precis som i småhus av trä kan fuktproblem skapa stora skador om de få fortlöpa. Eftersom byggtiden för ett höghus är längre än för vanliga småhus ökar även behovet att under byggtiden skydda byggnaden mot väder och vind.

Fuktproblem kan uppstå på grund av brister i utförande av dränering, markarbeten, montering eller av dålig planering, men dessa problem skiljer inte sig från andra husbyggen och tas inte upp i detta arbete.

Det som skiljer höghusbyggande från egnahemsbyggande är att byggtiden förlängs. Då monteringen kan ta flera veckor är väderskydd att föredra. Väderskydd har utförts på flera sätt genom åren med varierande resultat. Ett alternativ är att resa ett tält över hela huset.



Figur 16. Ett exempel på väderskydd som med kran monteras ovanför byggarbetsplatsen. (Telinrami, 2013)

Exempel på tillverkare av väderskydd är Telinerami, KAS-telineet och Lainapeite. KAS-telineet har även offertberäkningar på sin hemsida. Hyran för ett väderskydd för ett höghus är ca 150 €/dygn och montering och rivning kostar 15000 €. Därtill kommer kostnader för kranhyra, material m.m. (KAS-Telineet, u.å)



Viitteellinen sääsuojan asennus- ja vuokraajatarjous	
<< Uusi laskelma	
Sääsuojan asennus- ja vuokrahinta (viitteellinen)	
Sääsuojan koko	Pituus: 28 m, Leveys: 16 m, Seinäkorkeus: 18 m
Alue	Vaasa
Vuokra-aika	1 kuukautta
Hinta	
Asennus ja purku	14012 €
Materiaalit	2000 €
Nosturi asennukseen ja purkuun	3600 €
Vuokra/vrk	150 € / vrk
Rahti / suunta	572 €
Hinta yhteensä (alv 0%): 25256 eur	

Figur 17. KAS-Telineets priser för hyra av väderskydd presenteras smidigt på deras hemsida. (KAS-Telineet, u.å.)

Ett annat exempel på fuktsäkert byggande är att alla öppningar, som t ex fönster och balkongdörrar, lämnas täckta från utsidan och installeras först i efterhand då taket är på plats.

(Träguiden, Väderskydd, u.å.)

Den absolut lättaste vägen att gå då man vill väderskydda sin byggnad är att bygga snabbt under en regnfri period. Detta ger volymmodulerna en stor fördel då det är teoretiskt möjligt att bygga upp till fyra våningar på en dag om volymmoduler används.

(Träguiden, Väderskydd, u.å.)

Ifall man inte hinner montera färdigt kan man i förväg ha tillverkat en tillfällig volym med takkonstruktion som snabbt monteras på som väderskydd. Denna volym lyfts på vid dagens slut och håller huset regnskyddat under natten tills monteringen kan upptas igen nästa dag. Den extra kostnaden som denna modul har tjänas snabbt in då uppehåll på grund av väder inte är aktuella. (Träguiden, Volymelement, u.å.)

Våtrum och vattenledningar kan ställa till stor skada ifall läckage tillåts. Därför är det viktigt att våtrumsarbetet utförs av certifierad arbetare och att byggnaden konstrueras så att vibrationer från tvättmaskin inte skadar vattenisoleringen. Ifall läckage från rör skulle förekomma är det viktigt att rördragningarna placerats så man snabbt kan komma åt dem och utföra reparationerna. (Puuinfo.fi, Kosteustekniikka, u.å.)

Andra fuktrelaterade problem som kan uppkomma är relaterade till användningen av betong. Om betong på något sätt används tillsammans med trä kan problem uppkomma. I RunkoPES finns flera exempel på lösningar på mellanbjälklag där betong används som underlag till golv. Om detta används blir byggtiden beroende av betongen torktid och vid ett pressat tidsschema kan golvmaterialen läggas på för tidigt vilket leder till fuktproblem. (Petersson 2009, s.75)

Om källarvåningen byggs i betong kan även där uppstå fuktproblem som kan sprida sig till den bärande stommen.

9 Räkneexempel

En stor skillnad mellan egnahem och våningshus är skillnaden i konstruktionerna på grund av vertikala och horisontella laster. För att visa på förslag att åtgärda dessa problem visas här ett räkneexempel.

Jag har valt att beräkna ett 4-våningshus byggt med volymmoduler då detta verkar vara den typ som kan bli det mest använda i stundande projekt. Till exempel kommer Heikius Hus att bygga ett sådant hus i Vasa (se avsnitt 4.4.1). Planlösningen har hämtats från RunkoPES där ett liknande exempel finns.

För att kunna utföra beräkningarna bör man omvandla verkligheten till ett matematiskt system där lasterna antas verka enligt standardiserade lastfall och att byggnadens hållfasthet och stabilitet beror på vilka material som används.

Byggnaden antas verka med en så kallad kombinerad ram där stommen tar upp vertikala krafter och skivor i bjälklaget och i väggarna antas ta upp de krafter som uppkommer horisontellt. (Träguiden, Stabilisering – utförande, u.å.)

Den nedersta våningen blir mest utsatt då alla ovanliggande vertikala krafter skall föras ner till grunden. Samtidigt skall alla ovanliggande horisontella krafter tas upp av den första våningens mellanväggar och stabilisera byggnaden.

9.1 Laster

De laster som används i räkneexemplet är följande:

Egenvikt, bjälklagstomme $1,0 \text{ kN/m}^2$

Egenvikt, mellanvägg $0,6 \text{ kN/m}^2$

Egenvikt, tak $1,0 \text{ kN/m}^2$

Nyttolast, bjälklag $2,0 \text{ kN/m}^2$

Snölast $2,0 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ kN/m}^2$

$$\text{Vindlast } 0,6 \cdot 1,38 = 0,83 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Nyttolast, balkonger} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Egenvikt, balkonger} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Storleken på lasterna är hämtade ur Eurocode 5 och Allan Andersson har rådfrågats för att få lasterna så verklighetstroga som möjligt. Vindlasten bestäms så att huset antas befinna sig i terrängzon 3, vilket ger ett vindtryck på $0,6 \text{ kN/m}^2$. Formfaktorn bestäms enligt RIL-201-1. Allan Andersson har designat ett Excel-program för detta ändamål, vilket förkortar beräkningarna avsevärt. (Bilaga 1)

9.2 Bjälklag

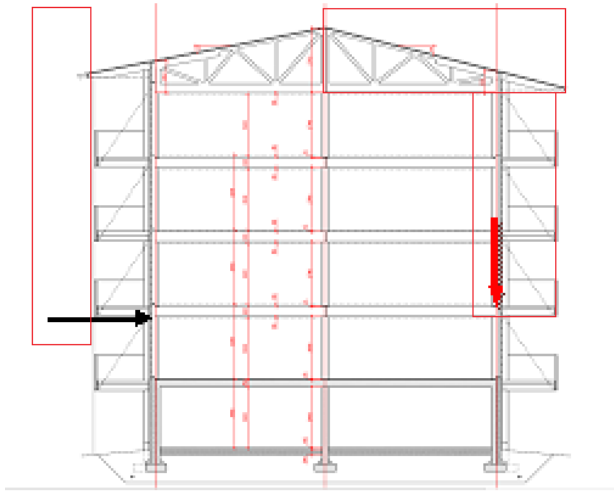
Bjälklaget dimensioneras med hjälp av ett Excel-program som finns på puuinfo.fi. Programmet dimensionerar med tanke på bjälklagets vibrationer som tillsammans med ljudisoleringen blir kritiskt i ett höghus av trä.

Programmet (Bilaga 2) visar att Kerto-S 51*260 är en tillräcklig dimension och ifall man vill använda limträ är dimensionen GL32c 90*225 tillräcklig. En 18 mm plywood-skiva behövs ovanpå för att binda ihop bjälklaget. För att ljudkraven skall uppfyllas krävs dessutom två lager gipsskivor på varsin sida om bjälklaget samt dämpande profiler och isolering.

9.3 Bärande yttervägg

De ovanliggande lasterna räknas ner så att en linjelast bildas ovanpå den nedersta våningens yttervägg. Lasterna från balkongerna antas verka jämnt fördelat då varje våning har skild syll och hammarband som fördelar lasterna jämnt. Vinden måste beaktas som sidokraft och då denna kraft hör till gruppen momentan och blir huvudlast får ovanliggande nyttolast reduceras.

Av bjälklagets egenvikt och nyttolast antas 1 m överföras till ytterväggen, resterande last bärs upp av mellanväggarna.



Figur 18. De laster som verkar på den nedersta våningen är summan av alla ovanliggande laster. Av bjälklagets laster fördelas en bredd på 1m till ytterväggen förutom lasten från balkongerna. Hela byggnadens vindlast påverkar samtidigt den nedersta våningen.

Total linjelast som verkar på ytterväggen:

$$\begin{aligned}
 n_{Ed} &= 1.15 \left[\left(\frac{b}{2} \right) \cdot (\text{tak}) + 1m \cdot b_{jl} \cdot 3vån + b_{alk} \cdot 3vån \right] + 1.50.7 \left[\left(\frac{b}{2} \right) \cdot snö + 1m \cdot b_{jl} \cdot 3vån + b_{alk} \cdot 3vån \right] \\
 n_{Ed} &= 1.15 \left[\left(\frac{14.548}{2} \right) \cdot 1 + 1 \cdot (1 + 1.6 \cdot 3 + 1.3 \cdot 2.43) \right] + 1.50.7 \left[\left(\frac{14.548}{2} \right) \cdot 2 + 1.2 \cdot 3 + 2.53 \cdot 2.43 \right] = 120.45 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Horisontell linjelast på grund av vind och momenten som uppstår:

$$q_d = 1.50.830.6 = 0.747 \text{ kN/m}$$

$$M_d = \frac{q_d l^2}{8} = \frac{(0.7473 \cdot 2^2)}{8} = 0.956 \text{ kNm}$$

För en väggstolpe med dimensionerna 50*200 fås följande spänningar:

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &= \frac{M_d}{W} = \frac{0.95610^6 \cdot 6}{50200^2} = 2.868 \text{ MPa} \\
 \sigma_c &= \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{72.2710^3}{50200} = 7.227 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Knäckning bör endast beaktas i den styvare riktningen då väggen är skivbeklädd och förhindrar knäckning i vekare riktningen. Väggregelns längd är 3200 mm, vilket innebär att knäckningsfaktorn k_c blir 0,72. För mera detaljerade beräkningar se bilaga 3.

En väggstolpe av sågat virke C24 har då följande bärförmåga för momentant lastfall:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{1.124}{1.4} = 18.857 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{1.121}{1.4} = 16.5 \text{ Mpa}$$

Bärförmåga för väggstolpen

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{7.227}{0.72 \cdot 16.5} + \frac{2.868}{18.857} = 0.76$$

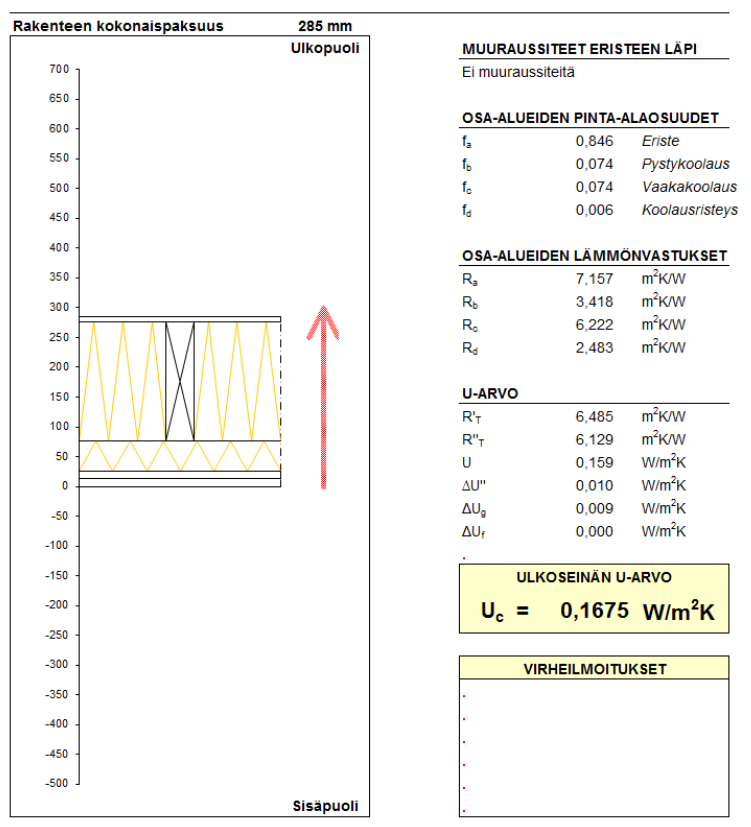
Beräkningarna visar att det finns stor säkerhet då det gäller ytterväggens bärkraft. Vid stora öppningar kan det vara skäl att utföra extra beräkningar då den ovanliggande kraften ökar om centrumavståndet blir längre än 600 mm

U-värdet för ytterväggen

För att rätt isoleringsförmåga skall uppnås räknas även ett u-värde för väggen ut. Väggens bärförmåga krävde en dimension på 200*50 men för att uppnå tillräcklig isoleringsförmåga krävs ännu en skålning på 50 mm.

Puuinfo har ett Excel-program som räknar ut hur tjock isolering som krävs för att u-värdeskraven skall uppfyllas. Den tjocklek som behövs är stolpar på 200 mm samt skålning 50 mm för att minimera köldbryggor, u-värdet för väggen blir då 0,1675 W/m²*K. (Puuinfo, U-arvo, 31.1.2012) (se bilaga 4)

Kravet på en yttervägg är $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ och kraven hittas i Finlands byggbestämmelsesamling C3.



Figur 19. U-värdet på en konstruktion räknas snabbt ut med hjälp av Excel-program. (Puuinfo, U-arvo, 31.1.2012)

Stämpeltryck

Nackdelen med trä är dess svaga hållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen. Detta blir kritiskt vid stämpeltryck mot syllen. I beräkningarna ingår faktorn $k_{c\perp}$, som till största del beror på stämpelfaktorn $k_{c,90}$. $K_{c,90}$ varierar från 1,0–1,75 beroende på syllens material och lastens placering. Limträ ger en faktor 1,5, vilket ger en högre hållfasthet gentemot andra typer av virke. (EN 1995-1-1 (6.1.5))

Med de laster som tidigare använts blir utnyttjandegraden för stämpeltrycket för en stolpe med måtten 200*50 mot en syll av konstruktionsvirke C24:

Normalkraften fördelas på ytan för stolpen:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{72.2710^3}{50200} = 7.227 \text{ MPa}$$

Hållfastheten för konstruktionsvirke C24 vinkelrätt mot fiberriktningen:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,d}}{\gamma_m} = \frac{1.1 \cdot 2.5}{1.4} = 1.964 \text{ MPa}$$

Spänningen jämförs med hållfastheten:

$$\frac{\sigma_c}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,t}} = \frac{7.227}{1.964 \cdot 2.75} = 1.338 > 1$$

Där:

$$k_{c,t} = \frac{l_{c,90,ef} \cdot k_{c,90}}{l} = 2.75$$

Vilket medför att vanligt konstruktionsvirke inte kan användas till syll. Om man istället använder limträ GL32c som syll har denna en högre hållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen.

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,d}}{\gamma_m} = \frac{1.1 \cdot 3.0}{1.2} = 2.75 \quad \text{samtidigt } k_{c\perp} = 3.3$$

$$k_{c,t} = \frac{l_{c,90,ef} \cdot k_{c,90}}{l} = 3.3$$

Vilket ger en utnyttjandegrad på:

$$\frac{\sigma_n}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,t}} = \frac{7.227}{2.75 \cdot 3.3} = 0.796$$

Väggstolpens dimension väljs således till 200*50 med 50 mm skålning och syllen görs i limträ med en bredd på 200 mm. Beräkningarna visar att även Kerto-S har tillräcklig hållfasthet. Man kan då använda Kerto-S istället för limträ. Lämpligast är kanske att välja samma material som mellanbjälklagsbalkarna vilket här i exemplet kunde väljas fritt mellan limträ och Kerto-S. För mera detaljerade beräkningar se bilaga 3.

9.4 Förstyvande mellanväggar

Vindlasten summeras ihop så att all ovanliggande och hälften av den aktuella våningens kraft bildar ett tryck mot övre kanten på väggarna. En skivbeklädd vägg antas delta i förstyvningen ifall bredden är större än $h/4$. En skiva ovanför en dörr eller ett fönster medverkar inte.

Den totala vindlasten (F_{D1}) som väggarna måste uppta är $1,5 \cdot 0,83 \text{ KN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,093 \cdot A$.

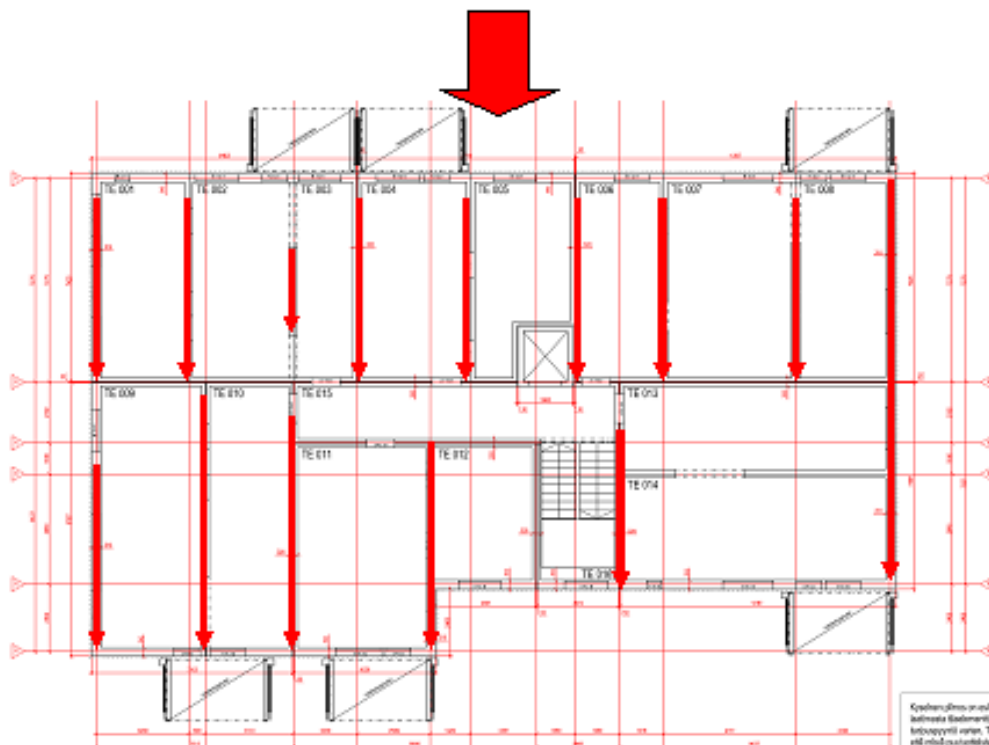
$$H_{ef} = H - 3 - 1,5 = 18 - 4,5 = 13,5 \text{ m}, \quad B = 28,29 \text{ m}$$

$$A = 13,5 \cdot 28,29 = 381,92 \text{ m}^2$$

$$\text{Vindlast, karakteristisk} = 0,83 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Snedställningslast} = 1/150 \cdot (3 \text{ kN/m}^2 \cdot 14 \text{ m}) / 3 \text{ m} = 0,093 \text{ KN/m}^2$$

$$F_{D1} = 1,38 \cdot 381,92 = 527 \text{ KN}$$



Figur 20. Alla mellanväggar antas dela på kraften på grund av vind som verkar mot husväggen. Skivornas totala styvhet måste överstiga vindlasten för att byggnaden skall vara stabil. (RunkoPES, 2012)

Denna kraft skall nu fördelas jämnt till de förstyvande väggarna. En väggs hållfasthet är summan av varje skivas enskilda hållfasthet. En skivas hållfasthet bestäms ur formel (9.21) (EN 1995-1-1 + A1 + AC)

$$F_{i,V Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s}$$

Där

$$F_{f,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk}$$

b_i = skivans bredd

c_i = formfaktor $c_i = 2 \cdot b_i/h$, dock mindre än eller lika med 1

s = skruvarnas centrumavstånd

$F_{v,Rk}$ bestäms ur formel 8.6, där gipsets hållkantryck behövs. Eftersom Eurokod 5 endast behandlar träbaserade material måste man ty sig till tillverkarnas tabeller för att hitta hållfastheten. De enda tabellerna som jag hittat är ur Gyproc handbok där man får skivans hållfasthet direkt utan att följa eurokodens formel.

Ifall plywood eller spånskivor används fås skivans hållkanthållfasthet ur formlerna (8.20–8.22). När man erhåller denna kan man fortsätta beräkningarna från formel (8.6):

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} & \text{(a)} \\ \frac{f_{h,2,k} t_2 d}{1 + \beta} & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{array} \right. \quad (8.6)$$

Formel (8.6) där en enskild skruvs/spiks hållfasthet bestäms. Den minsta av alternativen väljs.

- vanerissa:

$$f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3}$$

Formel 8.20

- standardin EN 622-2 mukaisessa kovassa kuitulevyssä:

$$f_{h,k} = 30 d^{-0,3} t^{0,6}$$

Formel 8.21

- tavallisessa ja OSB-lastulevyssä:

$$f_{h,k} = 65 d^{-0,7} t^{0,1}$$

Formel 8.22

Beroende på vilken träbaserad skiva som används finns olika formler för att ta reda på skivans skjuvbärförmåga.

4.3.1 Rakennuksen jäykistäminen kipsilevyillä

Eri kiinnikeväleillä kiinnitettyjen Gyproc-rakennuslevyjen jäykistyskapasiteetit (kN/levy).
Laskettuina RIL 205-1-2009 mukaisesti.

Ranka	Kiinnike	Levytyyppi	Käyttö- luokka	Ominais- lujuus [kN]	Kiinnikkeiden väli [mm]					
					60	70	80	100	150	200
Puu	QT29	GHO 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06
	QMST 32	GHO 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06
	QSTW/ QMSTW 32	GHS 9	2 ja 3	0,43	-	6,32	5,53	4,42	2,95	2,21
	QU 32	GHS 9	2 ja 3	0,49	-	7,20	6,30	5,04	3,36	2,52
	QTR/QMTR 41	GFH 13	1	0,95	-	-	12,21	9,77	6,51	4,89
	QU 32	GHU 13	2	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	2,31
	QU 32	GHU 13	3	0,30	-	4,41	3,86	3,09	2,06	1,54
	QSTW 32	GHU 13	2	0,30	-	4,41	3,86	3,09	2,06	1,54
	QSTW 32	GHU 13	3	0,20	-	2,94	2,57	2,06	1,37	1,03
	QMST 32	GN 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06
	QGG 33	GL 15	1	0,65	-	9,55	8,36	6,69	4,46	3,34
	QMST 32	GEK 13	1	0,65	-	9,55	8,36	6,69	4,46	3,34
	QT57*	GF15 ja GEK 13	1	1,14	-	16,75	14,66	11,73	7,82	5,86
	QT 29	GN 13	1	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	2,06
	QTR/QMTR 29	GEK 13	1	0,55	-	8,08	7,07	5,66	3,77	2,83
	QT 41	GF 15	1	0,55	-	8,08	7,07	5,66	3,77	2,83
	QU 32	GTS 9	2	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	2,31
	QU 32	GTS 9	3	0,30	-	4,41	3,86	3,09	2,06	1,54
Puu	Konenaulat									
	BTC (NK-R)	GEK 13/GL 15	1	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	
	DF	GEK 13/GL 15	1	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	
	Senco	GEK 13/GL 15	1	0,45	-	6,61	5,79	4,63	3,09	
	BTC (NK-R)	GFH 13	1	0,79	13,54	11,61	10,16	8,13	5,42	
	DF	GFH 13	1	0,79	13,54	11,61	10,16	8,13	5,42	
	Senco	GFH 13	1	0,79	13,54	11,61	10,16	8,13	5,42	
	Huopanaulat									
	(H)15, DPN	GHS 9	2 ja 3	0,18	-	2,64	2,31	1,85	1,23	
	(H)15, DPN	GHU 13	2	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	
	(H)15, DPN	GHU 13	3	0,25	-	3,67	3,21	2,57	1,71	
	(H)15, DPN	GTS 9	2	0,40	-	5,88	5,14	4,11	2,74	
	(H)15, DPN	GTS 9	3	0,25	-	3,67	3,21	2,57	1,71	
	Ruuvinaula									
	BTC (NKS)	GEK 13/GL15	1	0,50	-	7,35	6,43	5,14	3,43	
* kapasiteetit koskien 1200 leveitä GF-levyjä (kts. kohta Rakennuslase)										

Figur 21. Gyproc ger värdet på en skruvs skjuvhållfasthet i tabell 4.3.1 i Gyproc handbok sid 448. Ur tabellen fås dessutom värdet för en skivas hållfasthet beroende på skruvarnas centrumavstånd. Det understreckade området ger värdena för en 13 mm gipssiva samt träskruv 3,9*29. Alla värden i tabellen är i brottgränstillstånd samt för momentant lastfall förutom skruvens enskilda hållfasthet(ominaislujuus).

En 3,9*29 träskruv har då karakteristiska hållfastheten 0,4 kN

$$F_{f,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk}$$

$$= \frac{1.1}{1.4} \cdot 400 = 314.286 \text{ kN}$$

Enligt avsnitt 9.2.4.2 (5) får detta tal ännu förstoras med faktorn 1.2

Formfaktorn $c_i = 2 \cdot b_i/h$, blir $2 \cdot 1,2/2,6 = 0,92$ med rumshöjden 2,6m

Kapaciteten för en 2,6m hög och 1,2m bred skiva med centrumavståndet 150mm blir då

$$\frac{(1.2 \cdot 314.286 \cdot 1200 \cdot 0.92)}{150} = 2.776 \times 10^3 \text{ N}$$

Värdet direkt från tabellen blir

$$0.922 \cdot 2.74 = 2.521 \text{ kN} \quad \text{Där 0,922 är korrigeringsfaktor för rumshöjden.}$$

Vilket visar att Gyproc har en liten extra säkerhet på sina värden.

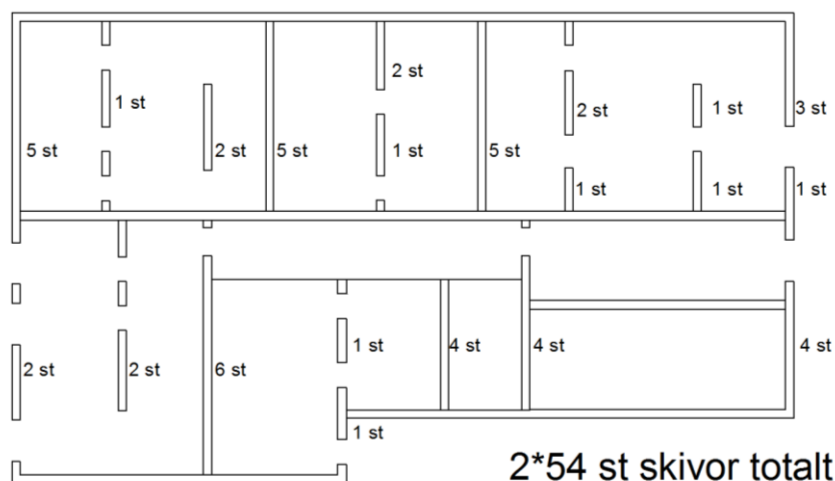
Nu då man vet en skivas hållfasthet kan man räkna ut hur många skivor som behövs innan tillräcklig stabilitet uppnås. Skivornas hållfasthet adderas ihop och jämförs med den aktuella kraften.

Antalet skivor som behövs fås ur:

$$\frac{F_{D1}}{F_{i,vRd}} = \frac{527}{2.776} = 189.841 \quad \text{st}$$

Ifall skruvarnas centrumavstånd minskas till 70 mm får man enligt Gyproc en hållfasthet per skiva på 5,88 kN. Då blir det totala antalet skivor:

$$\frac{527}{5.88} = 89.626 \quad \text{st}$$



Figur 22. Antal hela skivor som deltar och förstyvar byggnaden. 54 hela skivor ryms längs med alla mellanväggar, men eftersom skivor finns på båda sidor om väggen får antalet dubblas.

108 skivor deltar alltså, men antalet skivor räcker till endast om den tätare skruvningen tillämpas.

Ett mycket använt alternativ är att man lägger in spån- eller fanerskivor i stället som har en högre hållfasthet, men på grund av brandkraven används gips i åtminstone ett av lagren.

Väggen skall även förankras i golvet eller grunden mot lyftkrafter som bestäms enligt formel (9.23). Mellanväggarna är dock bärande och har en neråtriktad kraft på grund av bjälklagets nyttolast och egenvikt. Man strävar till att den neråtriktade kraften skall vara större än lyftkrafterna.

Lasfallet med full vindlast på sommaren med tom byggnad blir avgörande vid kontroll av behov av förankring. Att studera inverkan av olika lastfall går utanför detta arbetet och föreslås som tema i kommande arbeten. (Muntlig kommunikation med Allan Andersson 25.04.2013)

10 Resultat

Resultatet av beräkningarna blir att bjälklaget består av Kerto-S 51*260 balkar eller limträ 90*225 för hållfastheten. Därtill tillkommer ljudisolerande egenskaper som fås av de tillverkare som finns.

Ytterväggens dimensioner bör vara 50*200 plus en 50 mm skålning med tanke på byggnadens u-värde. Stämpeltrycket blir avgörande för valet av material till syllen, och därför väljs limträ GL32c eller Kerto-S som syllmaterial.

Skivmaterial kan man välja fritt bland gips- spån- eller fanerskivor. Gipsskruvarnas centrumavstånd måste dock kontrolleras så att tillräcklig bärförmåga uppnås. Ifall träbaserade skivor används måste dessa täckas in med gipsskivor för branddimensioneringens skull. Dessutom måste väggarna förankras i grunden mot uppåtriktade krafter.

Resultatet av resterande arbetet är en genomgång av de kritiska delarna av ett höghus i trä där krav och åtgärder presenteras.

11 Resultattolkning

Brandtekniskt finns det flera olika lösningar som är beroende av design och pris. Ifall ett dyrare sprinklersystem installeras kan man friare välja ytmaterial inomhus och kan då variera designen enligt kundens önskemål.

Utvändigt kan nog träpanel användas då det finns etablerade lösningar på de åtgärder som krävs, men det blir en extra kostnad då fasaden behöver regelbundet underhåll. Den nedersta våningen skall alltid vara av obrännbart material, vilket gör det naturligt att ha en källarvåning längst ner i byggnaden.

Ljudkraven är svåra att beräkna så det gäller att följa de förslag på lösningar som fås från tillverkare och från RT. Man kan alltid sträva till bättre ljudvärden än vad kraven är, då en god ljudmiljö är uppskattad av kunden. Genom att inte dra ventilation och avlopp nära sovrummen i bostäderna ökar man ljudkomforten ännu mer.

Enligt tillverkarna är volymmoduler att föredra jämfört med storelement. Detta då inredningsarbetet förkortas och dessutom ökar ljudegenskaperna då moduler används. Vid montering bör någon form av väderskydd användas då fuktskador kan göra stor skada.

Vid monteringen är det viktigt att monteringsplanen följs då stora kostnader uppstår om arbetet inte löper som det ska. Arbetssäkerheten är också mycket viktig och bör tas i beaktning då montering sker.

Volymmoduler har också den fördelen att man får räkna ett gemensamt E-tal för de moduler som är byggda på samma sätt. Trähus marknad för ofta som miljövänliga alternativ och man bör därmed ta detta i beaktande då det gäller val av uppvärmningssätt och energieffektivitet.

12 Diskussion

Då trähöghus inte är så vanliga här i våra trakter är det svårt att hitta den kunskap som behövs till sådana projekt. De resultat jag kommit fram till är således endast riktigivande och kan därför inte fungera som någon mall på hur ett höghus i trä skall byggas.

Jag har trots detta försökt förstå ifall dessa typer av projekt skulle vara genomförbara här och det faktum att det planeras flera trähöghus i Vasanejden visar att det nog är möjligt. Jag anser det viktigt att dessa projekt blir lyckade så att man visar att man kan bygga utan utomstående expertis eller resurser.

Min önskan är också att detta arbete skulle kunna fungera som information åt allmänheten för att råda bot på den eventuella skepsis som finns gentemot höghus i trä. Det är trots allt vanliga människor som är potentiella köpare och som skall uppmuntras till detta.

Erfarenheter från Sverige säger att problemen med att gå från småhusbyggande till våningshusbyggande är mycket större än bara andra dimensioner på konstruktionerna. Det tillkommer även stora ändringar i hur projektet styrs. Kunden är inte längre enstaka privatpersoner utan istället handlar det om bostadsbolag eller så påkostar byggföretaget hela projektet själv. Detta ställer stora krav på ekonomin med ändrad likviditet och betalplaner.

Det blir även stora förändringar i tidsplanen, där man förut kunde sända iväg ett hus per dag, skall nu upp till 20 lägenheter monteras upp på en dag. Monteringsgruppen blir kvar på samma ställe flera dagar och då kan småhusproduktionen, den verksamhet som skall hålla företaget flytande, stå stilla.

Hela projektet blir också annorlunda, och arbetsledarna som är vana att ha hand om småhusbyggen står plötsligt inför utmaningar de aldrig varit med om förut. Även konstruktörer och planerare står inför nya utmaningar där man helt enkelt inte vet vad som är rätt och vad som är fel. (E-postkommunikation mellan Mauritz Knuts & Anders Gustafsson, se bilaga 5).

Jag anser det helt möjligt att utföra dylika projekt av lokala företag, men man måste ta små steg och lära sig efter hand. Valet av byggnadsplats kan vara avgörande för hur väl projektet går och där kan mindre tätorter vara att föredra, då ingen konkurrens från större bolag finns där samtidigt som efterfrågan på lägenheter inte borde vara sämre.

Inne i stadsbebyggelse kan det vara svårare med konkurrensen inte bara från betong och stål utan även av andra trähustekniker. Vid höga hus och stora krafter har CLT-tekniken många fördelar gentemot element och volymmoduler.

Det skall bli intressant att följa utvecklingen på detta område då mycket kommer att avgöras under de närmaste åren.

13 Källförteckning

Carling, Olle (2001) *Limträhandboken*,
Sundsvall: Print & Media Center i Sundsvall AB

Elwing, C & Sjögren, K (2006)
Prefabricerade hus– en fråga om kvalitet, ekonomi och byggtid
Examensarbete, Institutionen för teknik och design, Växjö universitet. Växjö

Energiatodistus (u.å.).
www.energiatodistus.info (Hämtat: 31.01.2013)

Eurocode 5: Puurakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + AC:2006
Suomen Standardisoimisliitto SFS
+ Nationell bilaga till standard SFS-EN 1995-1-1:2007

FB-räystäsventtiili (24.6.2007).
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/products/1365/fbraystasventtiili.pdf>
(Hämtat: 11.02.2013)

Finlands Byggnadsbestämmelsesamling C1 (1998) *Ljudisolering och bullerskydd i byggnad*
Helsingfors: Miljöministeriet

Finlands Byggnadsbestämmelsesamling C4 (2003) *Värmeisolering, anvisningar*
Helsingfors: Miljöministeriet

Finlands Byggnadsbestämmelsesamling D3 (2010) *Byggnaders energiprestanda*
Helsingfors: Miljöministeriet

Finlands Byggnadsbestämmelsesamling E1 (2002) *Byggnaders brandsäkerhet*
Helsingfors: Miljöministeriet

Fire safety in timber buildings (2010).
<http://www.puuinfo.fi/fire-safety-timber-buildings-technical-guideline-europe-kasikirja>
(Hämtat: 11.02.2013)

Gyproc Handbok (2012)
<http://www.gyproc.fi/tilaa-ja-lataa/gyproc-kasikirja> (Hämtat: 18.3.2013)

Hellsborn, T & Nilsson, R (2010) *Höga hus med trästomme i Göteborg*.
Lärdomsprov för byggnadsingenjörsexamen. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Heikius Hus (u.å.).
heikius.com (Hämtat: 14.02.2013)

Hemming, Kristian (2012) *Monteringsanvisningar för storelement och volymhus*.
Lärdomsprov för ingenjörsexamen YH. Yrkeshögskolan Novia, Vasa.

Isover, Konstruktioner (u.å.).
<http://www.isover.se/multi-comfort+house/konstruktioner> (Hämtat: 14.02.2013)

KAS-Telineet (u.å)
<http://kas-telineet.fi/lang/fi/page/prices> (Hämtat: 14.03.2013)

Nygård, Christian (2011) *Elektrisk sammankoppling av modulhus*.
Lärdomsprov för ingenjörsexamen YH. Yrkeshögskolan Novia, Vasa.

Petersson B-Å (2009) *Byggnaders klimatskärm*
Lund: Studentlitteratur AB

Puuinfo, Kerrostalo (u.å.).
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalot/puuinfokerrostaloesitelr.pdf> (Hämtat: 11.02.2013)

Puuinfo.fi, Kosteusteknikka (u.å.).
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puurakennuksen-kosteustekninen-hallinta> (Hämtat: 11.02.2013)

Puuinfo.fi, Mitoitusohjelmat (u.å)
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/mitoitushjelmat> (Hämtat: 21.3.2013)

Puuinfo.fi, Puujulkisivun palokatko (18.8.2011).
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puujulkisivun-palokatko/puujulkisivun-palokatko-188.pdf> (Hämtat: 14.2.2013)

Puuinfo, Puu pintamateriaalina (1.3.2013).
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puu-pintamateriaalina>
(Hämtat: 9.4.2013)

Puuinfo, U-arvo (31.1.2012)
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/mitoitushjelmat/puurakenteen-u-arvon-maarittaminen> (Hämtat: 14.3 2013)

Renotech Oy (u.å)
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/products/1369/tinteriormpfr-i1.pdf>
(Hämtat: 20.2.2013)

Ratu TT 05-00442, Elementtien asennussuunnitelma

Ratu 25-0392, Väli- ja ulkoseinäelementtityö

RT-kort 38193

RT-kort 38196

RT 82-10903, VS 706

SFS-EN 12845

Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS 5980 Suomen

Suomen Standardisoimisliitto SFS

Simons Element (u.å.).

simonselement.fi (Hämtat: 11.2.2013)

Trafikministeriets beslut 1715/1992 kap 6 26 §

<http://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/1992/19921715> (Hämtat: 14.2.2013)

Träguiden, Platsbygg/öppna element (u.å.).

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1326&contextPage=5937>

(Hämtat: 11.4.2013)

Träguiden, Slutna element (u.å.).

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1328&contextPage=5937>

(Hämtat: 11.4.2013)

Träguiden, Stabilisering – utförande (u.å.).

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=800&contextPage=182>

(Hämtat: 15.2.2013)

Träguiden, Volymelement (u.å.).

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1349&contextPage=5937>

(Hämtat: 11.4.2013)

Träguiden, Väderskydd (u.å.).

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1318> (Hämtat: 11.04.2013)

VTT-passivhus (u.å.).

<http://passivehouse.vtt.fi/files/passiivitalon%20maaritelma.pdf> (Hämtat: 20.02.2013)

Åkerlöf, Leif (2001) *Byggnadsakustik*

Stockholm: Ab Svensk byggtjänst

Bildkällor

Karjalainen, M. (1997) Suomalainen puukerrostalo. Opetushallitus

KAS-Telineet (u.å)

<http://kas-telineet.fi/lang/fi/page/prices> (Hämtat: 14.03.2013)

Lindbäcks (Tommy Wiklund) (u.å)

http://www.lindbacks.se/bygg/webbfiles/Volym_kran.jpg (Hämtat: 9.4.2013)

Martinsons, Projekteringsguide (u.å)

http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/Byggsystem/Brand_och_ljud.pdf
(Hämtat: 9.4.2013)

Paroc, Flytande golv (2005)

http://www.paroc.com/SPPS/Finland/BI_attachments/BIFI%20esitteet/Askelaaniesite_www.pdf (Hämtat: 9.4.2013)

Puuinfo, Kerrostalo – Kestävästi puusta (u.å)

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalo/puuinfokerrostaloesitys.pdf> (Hämtat: 9.4.2013)

Puuinfo, Loimu-paneeli, Arvolista Oy (u.å)

<http://www.puuinfo.fi/sisustaminen/loimu-paneeli> (Hämtat: 14.02.2013)

Puuinfo.fi, Mitoitusohjelmat (u.å)

<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/mitoitusohjelmat> (Hämtat: 21.03.2013)

Puuinfo, Palkkivälipohjan ääniteknikka (24.8.2011)

<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/palkkivalipohjan-aaitekniikka>
(Hämtat: 9.4.2013)

Puuinfo, Paloräystät (14.6.2012)

<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/paloraystas> (Hämtat: 9.4.2013)

Puuinfo, RunkoPES (2012)

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-10/runkopes10.pdf> (Hämtat: 11.3.2013)

RT 82-10903, VS 706

Telinerami (2013)

http://www.telinerami.fi/portal/fi/tuotteet/saasuojat_ja_hallit/saasuojat_m_12/
(Hämtat 14.3.2013)

Träguiden, Anslutning mot mellanbjälklag (u.å)

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup2spalt.aspx?id=4556&contextPage=5947>

(Hämtat: 15.2.2013)

Träguiden, Generellt om akustik och ljud (u.å)

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1019&contextPage=1018>

(Hämtat: 15.2.2013)

Träguiden, Slutna element (u.å)

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1328&contextPage=5937>

(Hämtat: 11.2.2013)

Träguiden, Volymelement (u.å)

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1349&contextPage=5937>

(Hämtat: 11.2.2013)

Beräkning av vindlast enligt RIL-201-1-2008

Skriv in värden **bara** i de gula fälten!

terrängzon	zon	3	
beräkningshöjd	z	21	m

minimihöjd	z_min	5	m
vindtryck	q_p0	0,61	kN/m2

ge byggnadens mått

byggnadens bredd	b	28	m
byggnadens djup	d	17	m
byggnadens höjd	h	21	m

tab_1

zon	z_min	c_1	c_2	div_by
0	1	0,00893	0,0625	0,003
1	1	0,00794	0,0556	0,01
2	2	0,00995	0,0697	0,05
3	5	0,01279	0,0895	0,3
4	10	0,01513	0,1059	1

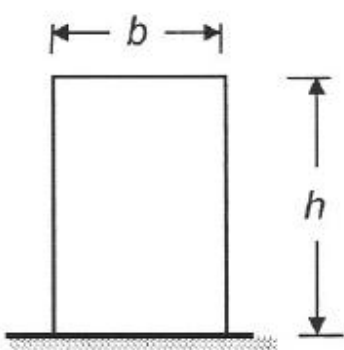
$$q_{p0}(z) = \left\{ \begin{array}{ll} 0,00893 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(1, z)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \cdot \ln \left(\frac{\max(1, z)}{0,003} \right), & \text{maastoluokassa 0} \\ 0,00794 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(1, z)}{0,01} \right) \right]^2 + 0,0556 \cdot \ln \left(\frac{\max(1, z)}{0,01} \right), & \text{maastoluokassa I} \\ 0,00995 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(2, z)}{0,05} \right) \right]^2 + 0,0697 \cdot \ln \left(\frac{\max(2, z)}{0,05} \right), & \text{maastoluokassa II} \\ 0,01279 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(5, z)}{0,3} \right) \right]^2 + 0,0895 \cdot \ln \left(\frac{\max(5, z)}{0,3} \right), & \text{maastoluokassa III} \\ 0,01513 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(10, z)}{1,0} \right) \right]^2 + 0,1059 \cdot \ln \left(\frac{\max(10, z)}{1,0} \right), & \text{maastoluokassa IV} \end{array} \right.$$

Bestämning av kraftfaktor c_f

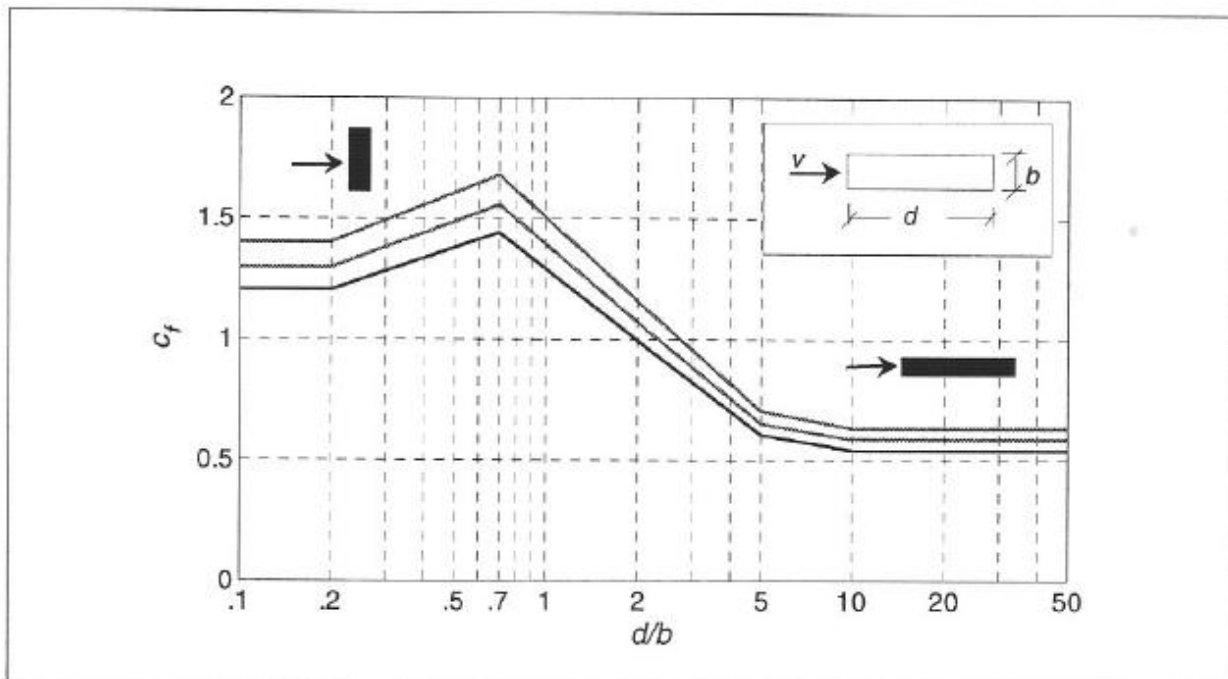
slankhetstal	λ	1,422857		
förhållande d/b	d_b	0,607143		
område för d/b	d_b_range	0,5	0,7	
kraftfaktor då $\lambda < 1$	c_f1	1,37	1,44	79 %
kraftfaktor då $\lambda = 3$	c_f3	1,48	1,55	21 %
kraftfaktor då $\lambda > 10$	c_f10	1,6	1,68	0 %
andel enligt d/b	andel	46 %	54 %	
kraftfaktor	c_f	1,43		

tab_2

	kantförhållande d/b									
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50	andel
diff	0,1	0,3	0,2	0,3	1	3	5	40	100	diff
1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,6	0,54	0,54	79 %
diff	0	0,17	0,07	-0,16	-0,29	-0,39	-0,06	0	0	diff
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58	21 %
diff	0	0,19	0,07	-0,17	-0,31	-0,42	-0,07	0	0	diff
10	1,4	1,4	1,6	1,68	1,49	1,15	0,7	0,63	0,63	0 %
diff	0	0,2	0,08	-0,19	-0,34	-0,45	-0,07	0	0	diff

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus λ
	<p>kun $h < 15$ m, $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$</p> <p>Välialueella $15 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ sovelletaan interpolointia.</p> <p>Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$.</p>

	Sivusuhte d/b								
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63



Kuva 5.2S. Voimakerroin c_f teräwsärmäisen suorakaidepoikkileikkauksen omaavalle matalalle tai korkealle rakennukselle.

Rakennuskohde	Työn nro.	Sivu
Bilaga 2	X	1 / 3
	Paiväys	Tekijä
	X	X
Suunnittelija	Sisältö	
x	Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)	

VÄLIPOHJAN TIEDOT JA KUORMAT

Info

Välipohjan tuentatapa

Kaksi reunaa tuettu ▼

Pintalaatan tyyppi ($E = \text{kimmomoduuli N/mm}^2$)Kipsivalu 50 mm; $E = 17000$ ▼

Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa

g = 0,6 kN/m²

Muuttuva kuorma

q = 2 kN/m²

Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus

 $\Psi_2 = 30 \%$

Huoneen suurin mitta

6,0 m

Välipohjan leveys

6,0 m

Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino

1,0 kN/m²

PALKISTO JA ALUSLATTIALEVYTYS

Info

Palkin jänneväli

4200 mm

Palkkien k-jako

600 mm

Palkin tyyppi ja koko

Kerto-S 51x260 ▼

Palkkien tuplaus

Ei tuplapalkkeja ▼

Levyn tyyppi

Havuv. 18/6 ply ▼

ALUSLATTIALEVYN KIINNITYS

Liitintyyppi

Kampan. 2,5x55 ▼

Liitinjako

200 mm

LIITTORAKENNEVAIKUTUKSEN HUOMIOIMINEN

Info

Liittorakenteen liitostapa

Liimaliitos ▼

Liimaustyön suoritus

Työmaaliimaus ▼

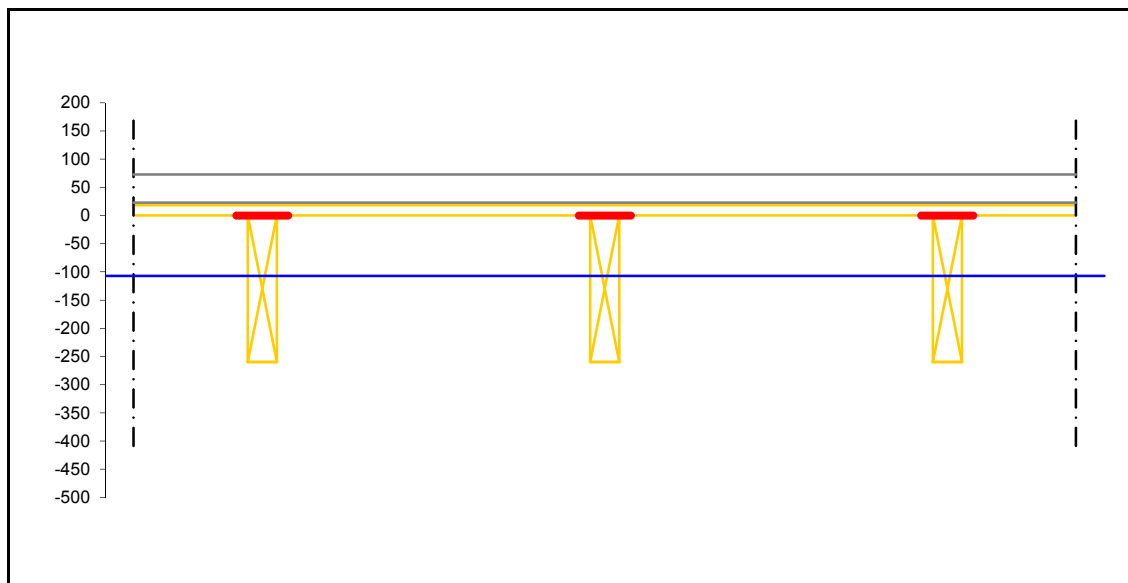
POIKITTAISJÄYKISTEET

Info

Poikittaisjäykisteiden määrä (ks. Info)

Ei jäykisteitä ▼

Rakennuskohde	Työn nro.		Sivu
Bilaga 2	X		
	Paiväys	Tekijä	
	X	X	2 / 3
Suunnittelija	Sisältö		
x	Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)		



MITOITUSTULOKSET			KUVAN MERKINTÖJÄ
OMINAISTAAJUUS		9,2 Hz	
TAIPUMA 1 kN:n PISTEKUORMASTA		0,34 mm	
HYVÄKSYTTÄVYYS			
Ominaistaajuus	vähintään 9 Hz	OK!	
Taipuman käyttöaste	67 %	OK!	

Pintalaatta

Puikkoliitin / Liima

Neutraaliakseli

Poikittaisjäykysteen välikapulat

Poikittaisjäykysteen vetolauta

- Pintalaatta
- Puikkoliitin / Liima
- Neutraaliakseli
- Poikittaisjäykisteen välikapulat
- Poikittaisjäykisteen vetolauta

MATERIAALIT JA POIKKILEIKKAUS

$E_{0,mean}$	13800	N/mm ²	Palkin kimmomoduuli
$E_{c,mean}$	4238	N/mm ²	Levyn puristuskimmomoduuli (aina heikomman suunnan arvo)
E_{mean}	3444	N/mm ²	Levyn taivutuskimmomoduuli palkiston suunnassa
E_{mean}	8556	N/mm ²	Levyn taivutuskimmomoduuli palkistoa vastaan kohtisuor. suunnassa
A_{palkki}	13260	mm ²	Palkin poikkileikkauksen pinta-ala
b_{ef}	471	mm	Levyn tehollinen leveys liittorakenteessa
A_{levy}	8478	mm ²	Levyn poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala liittorakenteessa

NEUTRAALIAKSELI

K_{ser}	739,57	N/mm	Liittimen siirtymäkerroin
γ_{levy}	1,00		Apusuure levylle (liittorakenne)
γ_{palkki}	1,00		Apusuure palkille (liittorakenne)
a_1	116,19	mm	Etäisyys neutraaliakselista levyn painopisteeseen
a_2	22,81	mm	Etäisyys neutraaliakselista palkin painopisteeseen

Rakennuskohde	Työn nro.		Sivu
Bilaga 2	X		
	Päiväys	Tekijä	
	X	X	3 / 3
Suunnittelija	Sisältö		
x	Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)		

VÄLIPOHJAN JÄYKKYYS PALKISTON SUUNNASSA

$(EI)_{\text{palkisto}}$	2202264232	Nmm ² /mm	<i>Palkiston taivutusjäykkyys</i>
$(EI)_{\text{pintalaatta}}$	177083333	Nmm ² /mm	<i>Pintalaatan taivutusjäykkyys</i>
$\Sigma(EI)_L$	2379347565	Nmm ² /mm	<i>Taivutusjäykkyys yhteensä (palkisto, pintalaatta)</i>

VÄLIPOHJAN JÄYKKYYS PALKISTOA VASTAAN KOHTISUORASSA SUUNNASSA

$(EI)_{\text{levy}}$	4158216	Nmm ² /mm	<i>Aluslattialevyn taivutusjäykkyys</i>
$(EI)_{\text{pintalaatta}}$	177083333	Nmm ² /mm	<i>Pintalaatan taivutusjäykkyys</i>
$(EI)_{\text{jäykiste}}$	0	Nmm ² /mm	<i>Poikittaisjäykisteiden taivutusjäykkyys</i>
$\Sigma(EI)_B$	181241549	Nmm ² /mm	<i>Taivutusjäykkyys yhteensä (levy, pintalaatta, poikittaisjäykisteet)</i>

VÄLIPOHJAN TAIPUMA PISTEKUORMASTA

k_L	1,00		<i>Taipumarajan korotuskerroin</i>
$\bar{\sigma}_{\text{sallittu}}$	0,50	mm	<i>Välipohjan sallittu taipuma 1 kN:n pistekuormasta</i>
$k_{\bar{\sigma}}$	0,53		<i>Apusuure jäykkyyksien suhteen</i>
$\bar{\sigma}_{\text{laatta}}$	0,34	mm	<i>Välipohjan taipuma 1 kN:n pistekuormasta</i>
$\bar{\sigma}_{\text{palkki}}$	1,50	mm	<i>Yksittäisen palkin taipuma 1 kN:n pistekuormasta</i>

VÄLIPOHJAN OMINAISTAAJUUS

m_1	163,10	kg/m ²	<i>Välipohjan omapaino</i>
m_2	61,16	kg/m ²	<i>Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus</i>
$\Sigma(EI)_L$	2379347,57	Nm ² /m	<i>Taivutusjäykkyys palkiston suunnassa</i>
$\Sigma(EI)_B$	181241,549	Nm ² /m	<i>Taivutusjäykkyys palkistoa vastaan kohtisuorassa suunnassa</i>
f_1	9,17	Hz	<i>Välipohjan ominaistaajuus</i>

MUUTA

Aluslattialevyn tyyppi:	Ympäripontattu havuvaneri
Aluslattialevyn kiinnitys:	Kampan. 2,5x55
Aluslattialevyn liittimien k-jako:	200 mm
Liittorakenne:	Aluslattialevy ja palkki toimivat liittorakenteena
Liittorakenteen liitostapa:	Työmaaliimaus

- Vanerilevy asennetaan siten, että levyn pintaviilun syysuunta tulee kohtisuoraan palkkeja vastaan
- Aluslattialevyn ponttisaumoissa sekä levyn ja palkin välissä suositellaan käytettäväksi polyuretaaniliimaa, vaikka liimausta ei hyödynnettäisikään värehtelymitoituksessa (narinan esto)
- Aluslattialevyn saumoissa ei saa olla väljyyttä liittorakennevaikutuksen takia

HUOMIO!

Välipohja tulee mitoittaa lisäksi staattisille kuormille murto- ja käyttörajatilassa.

Bilaga 3

Dimensionering av ytterväggsstolpe

Total linjelast som verkar på ytterväggen

$$n_{Ed} = 1.15 \left[\left(\frac{b}{2} \right) \cdot (\text{tak}) + 1m \cdot b_{jl} \cdot 3vån + balk \cdot 3vån \right] + 1.5 \cdot 0.7 \cdot \left[\left(\frac{b}{2} \right) \cdot \text{snö} + 1m \cdot b_{jl} \cdot 3vån + balk \cdot 3vån \right]$$

$$n_{Ed} = 1.15 \left[\left(\frac{14.548}{2} \right) \cdot 1 + 1 \cdot (1 + 1.6) \cdot 3 + 1 \cdot 3 \cdot 2.43 \right] + 1.5 \cdot 0.7 \cdot \left[\left(\frac{14.548}{2} \right) \cdot 2 + 1 \cdot 2 \cdot 3 + 2.5 \cdot 3 \cdot 2.43 \right] = 120.45$$

Antar dimensionerna 200*50 och cc-avstånd 600 C24 knäcklängd = 3200mm

$$N_{Ed} = 0.6 \cdot 120.45 = 72.27 \quad \text{kN}$$

Horisontell linjelast

$$q_d = 1.5 \cdot 0.83 \cdot 0.6 = 0.747$$

$$M_d = \frac{q_d l^2}{8} = \frac{(0.747 \cdot 3.2^2)}{8} = 0.956 \quad \text{kNm}$$

$$\sigma_m = \frac{M_d}{W} = \frac{0.956 \cdot 10^6 \cdot 6}{50 \cdot 200^2} = 2.868 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{72.27 \cdot 10^3}{50 \cdot 200} = 7.227 \quad \text{MPa}$$

Knäckfaktor k_c

Knäckning förhindrad i svagare riktning med förstyvande skivor

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{200}{\sqrt{12}} = 57.735$$

$$\lambda_y := \frac{L_c}{i_y} = \frac{3200}{57.735} = 55.426$$

Enligt figur 5.5 i EC 5

$$k_c := 0.72$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{7.227}{0.72 \cdot 16.5} + \frac{2.868}{18.857} = 0.76$$

Stämpeltryck

Hållfasthet 90 grader mot fiberriktningen för konstruktionsvirke C24

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_m} = \frac{1.1 \cdot 2.5}{1.4} = 1.964$$

$$\sigma_c = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{72.27 \cdot 10^3}{50 \cdot 200} = 7.227$$

$$l_{\text{w}} := 50$$

$$l_{c,90,\text{ef}} := 110$$

$$k_{c,90} := 1.25$$

$$k_{c,l} := \frac{l_{c,90,\text{ef}} \cdot k_{c,90}}{l} = \frac{110 \cdot 1.25}{50} = 2.75$$

$$\frac{\sigma_c}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,l}} = \frac{7.227}{1.964 \cdot 2.75} = 1.338$$

Vanligt konstruktionsvirke går ej att använda som syll.

Hållfasthet 90 grader mot fiberriktningen för Limträ GL32c

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_m} = \frac{1.1 \cdot 3.0}{1.2} = 2.75$$

$$l_{\text{w}} := 50$$

$$l_{c,90,ef} := 110$$

$$k_{c,90} := 1.5$$

$$k_{c,t} := \frac{l_{c,90,ef} \cdot k_{c,90}}{l} = \frac{110 \cdot 1.5}{50} = 3.3$$

$$\frac{\sigma_n}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,t}} = \frac{7.227}{2.75 \cdot 3.3} = 0.796 \quad \text{Limträ går att använda som syll.}$$

Hållfasthet 90 grader mot fiberriktningen för Kerto-S

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_m} = \frac{1.1 \cdot 6}{1.2} = 5.5$$

$$l_{\text{w}} := 50$$

$$l_{c,90,ef} := 110$$

$$k_{c,90} := 1.4$$

$$k_{c,t} := \frac{l_{c,90,ef} \cdot k_{c,90}}{l} = \frac{110 \cdot 1.4}{50} = 3.08$$

$$\frac{\sigma_n}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,t}} = \frac{7.227}{5.5 \cdot 3.08} = 0.427 \quad \text{Kerto-S går att använda som syll.}$$

20.45

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Bilaga 4	X	1 / 2
	Päiväys	
	X	X
Rakennuskohde	Sisältö	
x	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

RAKENTEEN TIEDOT

Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan)

RAKENNEKERROKSET

Sisäpinta

1 Kipsilevy

Kerroksen paksuus [d]	13,0 mm
Lämmönjohtavuus [λ]	0,250 W/mK

2 Kipsilevy

Kerroksen paksuus [d]	13,0 mm
Lämmönjohtavuus [λ]	0,250 W/mK

3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)

Kerroksen paksuus [d]	50,0 mm
Lämmönjohtavuus [λ]	0,037 W/mK
Koolaussuunta (p / v)	v

4 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)

Kerroksen paksuus [d]	200,0 mm
Lämmönjohtavuus [λ]	0,037 W/mK
Koolaussuunta (p / v)	p

5 Kipsilevy

Kerroksen paksuus [d]	9,0 mm
Lämmönjohtavuus [λ]	0,250 W/mK

6 Ei rakennekerrosta

7 Ei rakennekerrosta

8 Ei rakennekerrosta

Ulkopinta

ILMARAKOJEN TIEDOT

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1

METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä

KOOLAUKSEN TIEDOT

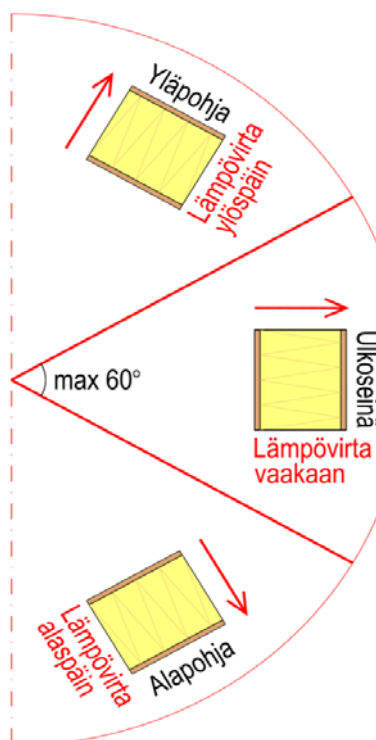
Koolauspuun leveys [b] 48 mm

Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ] 0,120 W/mK

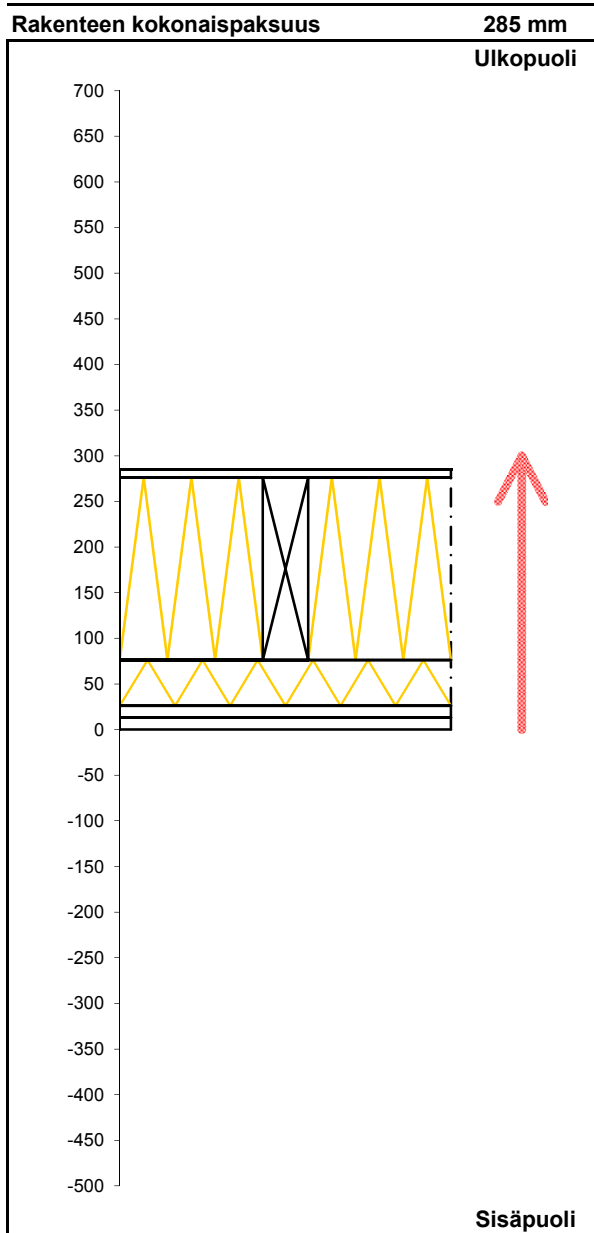
Pystykoolauksen k-jako [s] 600 mm

Vaakakoolauksen k-jako [s] 600 mm

RAKENNE / LÄMPÖVIRTA



	Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	b [mm]	s [mm]
	Sisäpinta			0,1300		
1	Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
2	Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
3	Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	50	0,037	1,1457	48	600
4	Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	200	0,037	4,5830	48	600
5	Kipsilevy	9	0,250	0,0360		
	Ulkopinta			0,1300		



Ei muuraussiteitä

OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET		
f _a	0,846	<i>Eriste</i>
f _b	0,074	<i>Pystykooraus</i>
f _c	0,074	<i>Vaakakooraus</i>
f _d	0,006	<i>Koorausristeys</i>

R _a	7,157	m ² K/W
R _b	3,418	m ² K/W
R _c	6,222	m ² K/W
R _d	2,483	m ² K/W

R'_T	6,485	m^2K/W
R''_T	6,129	m^2K/W
U	0,159	W/m^2K
$\Delta U''$	0,010	W/m^2K
ΔU_g	0,009	W/m^2K
ΔU_f	0,000	W/m^2K

ULKOSEINÄN U-ARVO

$U_c = 0,1675 \text{ W/m}^2\text{K}$

VIRHEILMOITUKSET

Bilaga 5

Mailkonversation mellan Mauritz Kuts och Anders Gustafsson

Hej Mauritz

Jag har varit med under hela utvecklingen av flervåningshus i trä i Sverige så jag tycker mig ha en

hygglig överblick av tekniken, problemen mm.

Vad som är väsentligast när man skall gå från att leverera småhus till hela flervåningshus eller komponenter/byggsdelar till

flervåningshus kan ev. delas in enligt följande (ej komplett på något sätt och m.a.p svenska förhållanden)

Affären, affärsorganisationen: annan typ av kund, dokumentation är annorlunda, hur stor del skall vi leverera?, betalningsplaner mm

Projektering: Hur stor del av projekteringen skall vi göra, kan vi göra den, om inte vem skall upphandlas, anpassning mot produktion,

Teknik: Annorlunda krav, har vi den tekniska kunskapen/produkten med avseende på ljud, brand, bärrighet,

Produktion: Kapacitet (kan vara svårare att planera in i produktionen än för småhus), hur stor del av entreprenaden skall vi ta (totalent, delad entreprenad, enbart färdigritade entreprenader, mm), uppföljning på byggarbetsplatsen (kontrollplaner mm kanske måste göras om), relationsritningar, mm

Jag har upplevt att det finns en större skillnaden mellan småhustillverkare och entreprenadföretag än vad jag trodde. Produktionen i fabrik enligt specifika krav är inga problem utan största problemet har nog varit att finna det rätta samarbetspartners om man inte själv vågar sig på att ta helheten.

De stora byggentreprenörerna har oftast inget incitament för att köpa "allt" i prefab och har oftast dålig kunskap om montage (kan vara lämpligt att göra montaget själv eller bidra med montageledare). Att göra allt själv kräver mera och oftast en större risk och kanske kräver andra personer som inte finns i organisationen (ev. kan man köpa in en duktig platschef enbart för objektet).

Det finns ett stort antal ytterligare aspekter som jag missat, men alltid en början.

Mvh/Anders

Hej Mats och Anders,

Vi träffades på Botnia-Atlanticas nätverksträff i Umeå i november och därför kom jag att tänka på just er två då denna frågeställning kom emot.

I Finland har man nu då äntligen gått in för att man ska kunna bygga höghus av trä och det finns nu många elementhusfabriker som skulle vilja slå sig in på området.

För tillfället görs många slutarbeten och utredningar angående vad som en elementhusfabrik måste ta i beaktande då man övergår till tillverkning av element för trähöghus.

Kan ni ge råd på vilka områden som är de mest väsentliga, eller kan ni tipsa om någon annan som är väl insatt i frågeställningen?

Mvh, Mauritz Knuts